MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

N.º 65 - MENSUAL 400 Ptas.

La aspirina
Los sistemas expertos
Los etruscos • Kaiko
La mecánica cuántica



ISSN 0211 - 3058

Después de los compatibles INVES PC, los mejores ya no serán los mismos

Una línea de ordenadores personales, totalmente compatibles con los IBM PC, XT y AT, y con un precio increíble.*

Desde 99.900 pesetas usted y su empresa pueden acceder al mundo de la compatibilidad total. Más de 55.000 títulos probados de software y la mayor línea de periféricos que existe en el mercado.

Los INVES PC 256X, 640X y 640A se adaptan tanto a las necesidades de su empresa como a las de su presupuesto.

Haga algo realmente positivo para su empresa. Contrate un INVES PC. Y con la garantía de Investrónica, el distribuidor español con más experiencia en venta y servicio de ordenadores familiares, domésticos y personales.

inves PC

Memoria RAM, desde 256 a 640 K.
Unidad de disco, desde 360 K
(1.2 Mb en mod. 640A)
Interface para impresora.
Teclado en castellano.
Monitor monocromo (excepto mod. 256X).

Desde 99.900 pts. + IVA

Somos Compatibles



INVES PC 256X CPU: INTEL 8088: Reloj de 4.7 MHz. DMA. / MEMORIA: RAM: 256 K. / SISTEMAS OPERATIVOS: MS-DOS, DOS PLUS. / INPUT/OUTPUT: Interfaces para monitores monocromo y color. / FLOPPY DISK: Instalado 1 unidad de 360 K. / TECLADO: 85 teclas. 10 teclas de función programables. Teclado numérico adicional. / GRAFICOS: Alta resolución 640 × 200 monocromo. / SONIDO Y MUSICA: Altavoz incorporado. Control de sonido mediante programa. **99.900 (+ IVA)**

INVES PC 640X CPU: INTEL 8088: Zócalo para coprocesador 8087. Reloj de 4.7 MHz. DMA. / MEMORIA: RAM: 640 K. / SISTEMAS OPERATIVOS: MS-DOS, DOS PLUS. / INPUT/OUTPUT: Seis conectores libres de expansión para opciones. Interface Centronics paralelo. Interface Monitor Monocromo. / FLOPPY DISK: Instalado 1 unidad de 360 K. / HARD DISK: Opcional 20 Mb. / TECLADO: Igual a Inves PC 256X. / GRAFICOS: Igual a Inves PC 256X. / MONITOR MONOCROMO: CRT: 12" antirreflexivo. Fósforo Verde. / SONIDO Y MUSICA: Igual a Inves PC 256X. **139.900 (+ IVA)**

INVES PC 640A CPU: INTEL 80286: Reloj a 6/8 MHz seleccionable. Bus datos: 16 bits. DMD de 7 canales. Reloj en tiempo real alimentado con baterías. Autodiagnóstico en encendido. Llave de seguridad. / MEMORIA: RAM: 640 Kb. ROM: 40 Kb. / SISTEMAS OPERATIVOS: MS-DOS, DOS PLUS, XENIX. / INPUT OUTPUT: Igual a Inves PC 640X. / FLOPPY DISK: Instalado 1 de 1.2 M. / DISCO DURO: Instalado 1 de 20 Mb. / TECLADO: Igual a Inves PC 256X. / GRAFICOS: Igual a Inves PC 256X. / MONITOR MONOCROMO: Igual a Inves PC 640X. / SONIDO Y MUSICA: Igual a Inves PC 256X. **425.000 (+ IVA)**

* IBM PC, XT, AT. Son marcas registradas de International Bussines Machines Corp.

investronica

Tomás Bretón, 62
Tel. (91) 467 82 10
Telex 23399 IYCO E
28045 Madrid

Camp, 80
Tels. (93) 211 26 58 - 211 27 54
08022 Barcelona

Y RED DE CONCESIONARIOS AUTORIZADOS

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, versión en castellano

Sumario n.º 65



Casi centenaria, la aspirina continúa siendo un medicamento muy utilizado. Su futuro parece todavía más brillante que su pasado. (Dibujo de Fernando Cunha.) (p. 84)



¿Qué se sabe realmente sobre los etruscos? Unos estudios recientes han abierto unas nuevas perspectivas sobre esta civilización. (Foto Scala.) (p. 6)



El «Nautile», capaz de descender a 6.000 m, ha permitido el éxito de la misión Kaiko. (Foto IFEMER.) (p. 36)



La mecánica cuántica dispone de más de un recurso para sorprendernos... y sin embargo ¡funciona! (Dibujo Masse.) (p. 80)



¿De qué sirven los sistemas expertos, estos sistemas que «razonan» como especialistas? (Foto Lab. de Marcoussis.) (p. 61).

N.º 41

EL ECOSISTEMA PELÁGICO DEL MEDITERRÁNEO,
por Ramón Margalef.
LA RADIACTIVIDAD ATMOSFÉRICA,
por Gérard Lambert.
LOS HIELOS EXTRATERRESTRES,
por Jürgen Klinger.
LA GÉNESIS DE LA OBRA DE MENDEL,
por Jean-Louis Serre.
PROLOG, LENGUAJE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL,
por Alain Colmerauer.
DOSSIER: LA BOMBA DE NEUTRONES,
por André Gsponer.

N.º 43

EL SAHARA, DE LA ESTEPA AL DESIERTO,
por Nicole Petit-Maire.
CÓMO SE FORMA UNA MOSCA,
por Marcel Blanc.
ESPACIO Y PERSPECTIVA DEL QUATTROCENTO,
por Pierre Thuillier.
LAS HORMONAS DEL HIPOTÁLAMO,
por Luce Dufy-Barbe
EL ESPACIO SOVIÉTICO,
por varios autores.



N.º 60 (especial)

LAS VACUNAS MODERNAS,
por Albert Sasson.
LA DEFENSA CONTRA EL CALOR Y EL FRÍO,
por John Bligh.
LA DEFENSA DEL FETO CONTRA SU MADRE,
por Gérard Chaouat.
LOS MENSAJEROS DE LA INMUNIDAD,
por Didier Fradelizi.

N.º 47

LA QUÍMICA INTERESTELAR,
por James Lequeux.
ADA: UN LENGUAJE INFORMÁTICA UNIVERSAL,
por Eric de Massas y Michael Lott.
LAS PLATAFORMAS PETROLÍFERAS MARINAS,
por Gilles Susbielles.
EL ORIGEN DE LOS ARTRÓPODOS,
por Derek E.G. Briggs.
DOSSIER: LAS ARMAS DEL LÁSER,
por Michel Wautelet.

N.º 48

LA EUGENESIA EN ESPAÑA,
por Raquel Álvarez Peláez.
LA IRRADIACIÓN DE LOS ALIMENTOS,
por Pernette Langley-Danysz.
CUANDO LOS COHETES VIBRAN: EL EFECTO POGO,
por Henri J.P. Morand.
LA GENÉTICA DEL DESARROLLO DE LA MOSCA,
por Pierre Spierer y Michel Goldschmidt-Clermont.
LOS NUEVOS COMPONENTES DE LA ELECTRÓNICA RÁPIDA,
por René Castagné.

BOLETÍN DE PEDIDO

Nombre ....
Domicilio ....
Población .... C.P. .... Provincia ....

Deseo que me envíen los siguientes cinco números de Mundo Científico:

(agotados los números 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 21, 27 y 38) al precio de oferta de 1.500 pesetas, cuyo pago deseo efectuar mediante

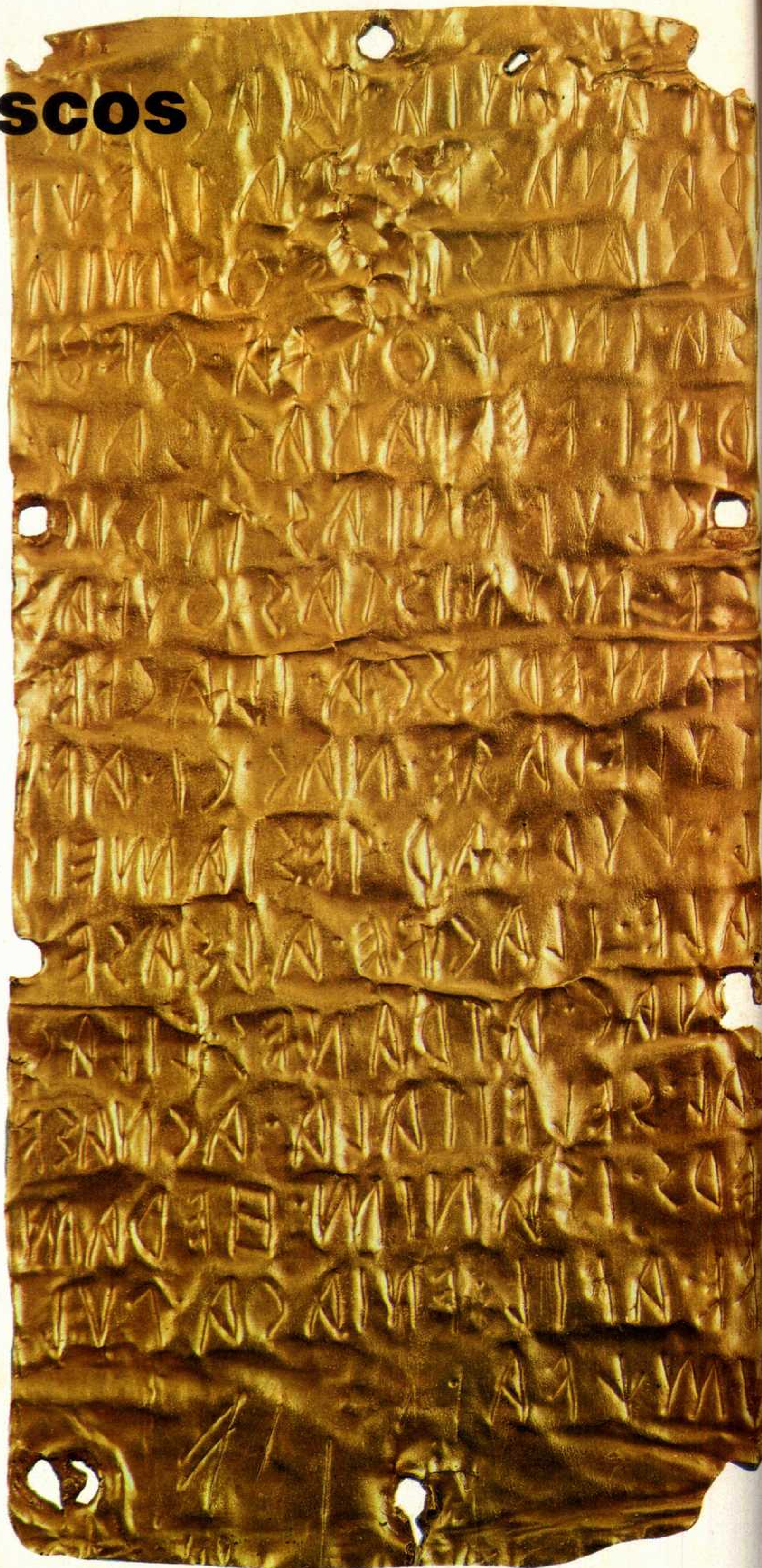
- ☐ Talón adjunto por 1.500 pts.
- ☐ Contrarrembolso (más 50 pts. por gastos de envío).

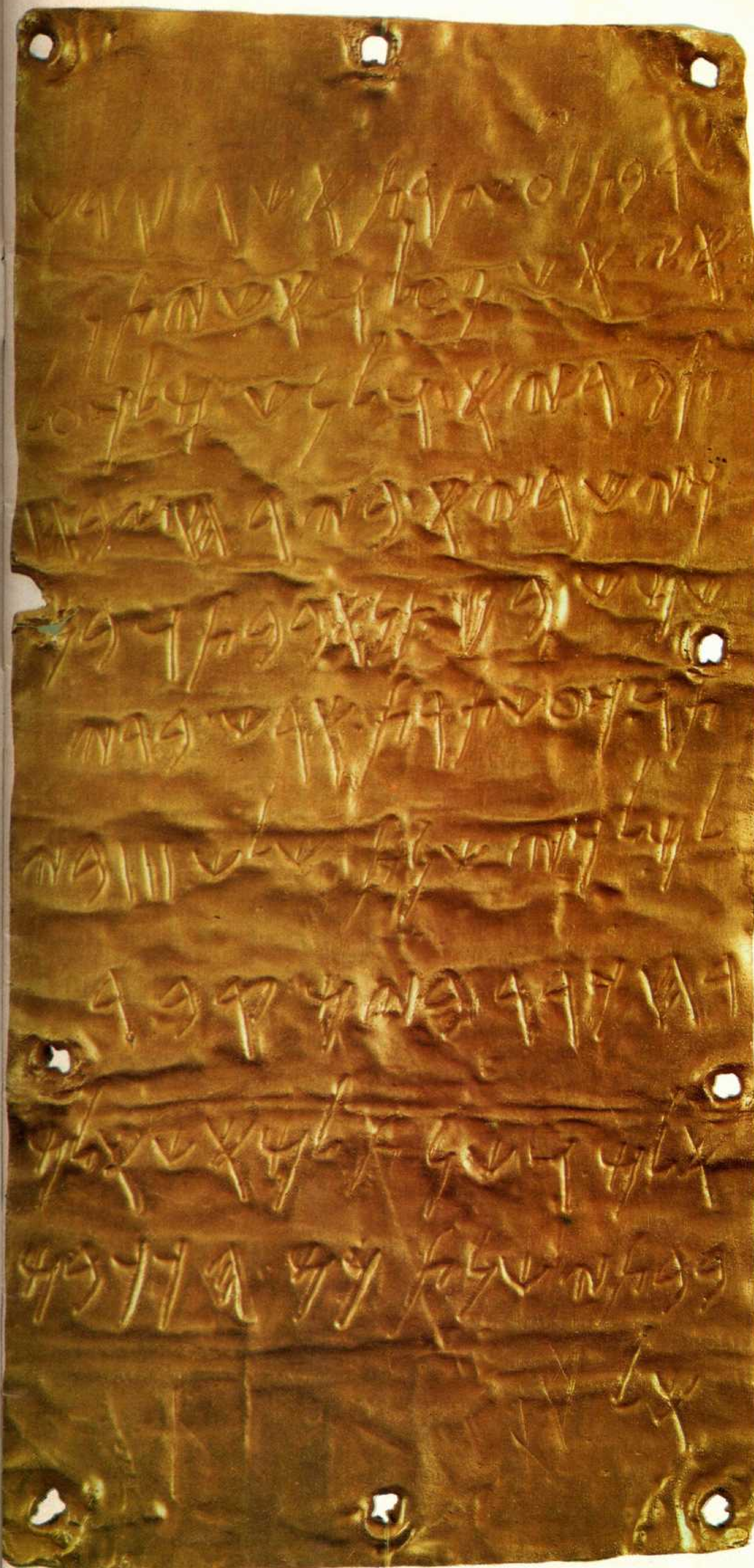
Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba, S.A., Valencia, 359, 6.º - 1.ª - 08009 Barcelona

Los Etruscos

Por Michel Gras

El Año Etrusco ha terminado pero ¿qué se celebraba? Hace mucho tiempo que se conoce a los etruscos, ese pueblo establecido en Toscana mucho antes de que los romanos se adueñaran de Italia. Pero es verdad que se recuerda más a menudo el «misterio» que envuelve a esta civilización que los trabajos y los resultados de una investigación en plena renovación, de la que Michel Gras presenta las líneas maestras. Sin embargo, gracias a ella, el «misterio» se disipa. Entonces aparece un pueblo de agricultores y de marinos cuyo origen indígena no ofrece ninguna duda. Con el contacto de fenicios y griegos, los etruscos se proveyeron poco a poco de una cultura muy particular donde las influencias orientales se injertan sobre un viejo fondo itálico, que lleva así a crear una civilización que no necesita del misterio para resultar apasionante.





Michel Gras, antiguo director de los estudios para la Antigüedad en la Escuela Francesa de Roma, es director de investigación en el CNRS. Especialista en comercio etrusco e intercambios comerciales en la Italia arcaica, ha trabajado en Cerdeña y en Sicilia.

Los estruscos están de moda, lo cual complica las cosas» escribía, hace casi quince años, el gran sabio italiano Ranuccio Bianchi Bandinelli. La fórmula sigue siendo válida hoy, cuando se acaban las manifestaciones científicas del *Año etrusco*. Pese al excepcional esfuerzo realizado por las autoridades italianas y la región toscana para organizar grandes exposiciones en Florencia, Siena, Arezzo, Perusa, Orbetello y Massa Marittima ¿qué imagen conservará el público –el «gran público» como se dice– de la labor emprendida y de la civilización etrusca? Como decía con humor uno de los artífices del *Año etrusco* ¿no contribuirá todo esto a reanimar sólo la energía de los excavadores clandestinos (los famosísimos *tombaroli*) y de los aficionados más apasionados que instruidos?

No hay ninguna razón para ser tan escéptico. Pero resulta curioso comprobar que la investigación acerca de la civilización etrusca conserva con demasiada frecuencia un perfume de romanticismo y que la gestión de los científicos que se ocupan de ella sigue siendo difícil de apreciar. Los etruscos aún son víctimas de las antiguas problemáticas mal planteadas en el transcurso de los últimos siglos: dicho sea brevemente, hay un desfase total entre la investigación que se hace y la visión que tienen los no especialistas. La historia de los etruscos sigue siendo, para muchos, la de un pueblo venido de otro lugar (¡de un Oriente cargado de misterio y exotismo!) y que hablaba una lengua incomprensible. Estas dos «pilastras» que durante mucho tiempo han sostenido la imagen de los etruscos vistos por los modernos están a punto de derrumbarse para dejar sitio a una historia verdadera compuesta, para la civilización etrusca como para todas las civilizaciones, de evoluciones y de mutaciones lentas, salpicadas de crisis, y de una inserción en el contexto regional (para el caso, el de una Italia que todavía no está sometida a Roma).

La civilización etrusca es *«la primera*

Figura 1. ¿Son los etruscos ese pueblo misterioso, venido de Oriente con una escritura indescifrable y una lengua desconocida que a menudo nos gusta imaginar? En realidad, las investigaciones de los etruscólogos han hecho justicia desde hace tiempo a estos falsos misterios. Comenzando por la cuestión de la escritura y de la lengua, pues si es cierto que la lengua etrusca resulta todavía difícilmente comprensible, la escritura es totalmente legible ya que los etruscos utilizaban el alfabeto griego. Son prueba de ello las tres tablillas en oro de Pyrgi, de las cuales dos están escritas en etrusco y la tercera en fenicio, y que ofrecen una misma versión de un relato. Refiriendo que el rey de Caere había hecho una consagración a una diosa, estas tablillas estaban originalmente colocadas en la puerta de un templo (se ven los agujeros de fijación). Son testimonio de los estrechos lazos entre los etruscos y Cartago, pero son también unos valiosísimos documentos para la comprensión de la lengua etrusca. (Fotos Scala.)

gran civilización indígena de Italia» (J. Heurgon). Digamos, para precisar, que hacia fines del siglo VIII a. de J.C., la sociedad de la Etruria antigua (esencialmente el triángulo comprendido entre las actuales ciudades de Pisa, Florencia y Roma) (fig. 2) era la que tenía las estructuras económicas y sociales más adaptadas para aprovecharse del contacto con el mundo griego que entonces se lanzaba a una experiencia colonial conmoviendo sobre todo la Italia meridional y Sicilia, pero cuyas repercusiones afectaban igualmente la Italia central. Paralelamente, las influencias orientales vehiculadas por los fenicios que acababan de fundar Cartago y de instalarse en el oeste de Sicilia y el sur de Cerdeña conmueven a este mundo indígena establecido entre el Arno y el Tíber y que constituye lo que nosotros llamamos la civilización «villanoviana» (bautizada a partir de los descubrimientos efectuados en Villanova cerca de Bolonia), pero que sería mejor definir como la fase villanoviana de la civilización etrusca, en la medida en que la fase siguiente –la propiamente etrusca– procede estrechamente de esta civilización villanoviana, particularmente bien conocida gracias al estudio de la necrópolis de la ciudad etrusca de Veyes (fig. 3A).

Este mundo indígena en mutación, compuesto de comunidades que se han estructurado y jerarquizado progresivamente, que tiene ya algunas experiencias marítimas y practica una explotación racional de los recursos agrícolas, estaba en consecuencia preparado para «aprovechar» el contacto con poblaciones extranjeras como griegos y fenicios. Este contacto, acompañado de numerosos y complejos procesos de aculturación ocupa los dos siglos (siglos VII y VI) que marcan el apogeo de la civilización etrusca: es el período «arcaico» con el desarrollo de una docena de grandes ciudades instaladas bien en la costa (Populonia frente a la isla de Elba), bien cerca de la ribera (Vetulonia, Roselle, Vulci, Tarquinia, Caere), bien hacia el interior en las fértiles campiñas de Toscana y del Lacio de hoy (Ghiusi, Volterra, Cortone, Perusa, Orvieto y Veyes). No unidad política, sino sólo una unión federal, de naturaleza esencialmente religiosa, que pone de relieve la posición de Orvieto, cerca de la cual debía encontrarse el santuario común cuya localización seguimos ignorando.[1]

Este conjunto de ciudades recuerda evidentemente la experiencia griega de las ciudades: en cierta manera, proceden de ellas. Pero también conoce sus crisis sociales, y esquemáticamente se puede decir que las grandes aristocracias que habían construido su poder con la explotación de la tierra ven impugnada su influencia por la ascensión de los comerciantes y de los artesanos, que se beneficiaron más de los intercambios comerciales con el mundo griego y que, a partir de la segunda mitad del siglo VI, comienzan a desempeñar funciones en la dirección de los negocios: éstos no dependen ya de unas poderosas familias que enterraban a sus muertos en grandes tumbas –cuya arquitectura ha sido bien estudiada por F. Prayon de Tubinga (República Federal de Alemania)– congregando bajo un mismo túmulo los grupos emparentados (fig. 2B), sino de una «clase» media que construye unas necrópolis organizadas racionalmente con tumbas, todas parecidas, alineadas: la organización de los cementerios es para nosotros el mejor indicio de la evolución de la sociedad de los vivos.

Estas tensiones sociales desembocan en una situación de crisis que llena el siglo V.[2] Pero no se debe olvidar que esta crisis, para el arqueólogo, es en primer término una crisis de documentación, menos abundante que para las fases precedentes. El mundo etrusco se ha reorganizado. Está dotado ahora de dos apéndices (en sentido geográfico): Campania hacia el Sur, la llanura del Po hacia el Norte, donde las investigaciones francesas siempre han estado presentes –de Albert Grenier a Christian Peyre (Escuela Normal Superior, París) y a Anne-Marie Adam (Estrasburgo)–. El primer apéndice le permite una imbricación aún más sostenida con el mundo griego colonial que ha puesto un freno decisivo a las ambiciones marítimas etruscas: la famosa batalla de Cumas en el año 474 a. de J.C. marca el principio de la influencia siracusana en el Mediterráneo occidental. Además, Etruria mira más hacia el Adriático, y la colonización de la llanura del Po le permite tener, con Adria y Spina, otras salidas marítimas que permiten contactos directos con Grecia. Todo esto coincide bastante bien con la impresión de que las ciudades del interior y las campiñas sufrieron menos la «crisis» del siglo V que las ciudades costeras, que no pudieron proseguir la expansión de la época arcaica.

Pero Etruria comienza a reducirse, como una piel de zapa. Los campanienses chocan con el crecimiento de los montañeses samnitas; los padanos con la irrupción de las poblaciones celtas (invasión gala); la proximidad romana, sobre todo, se vuelve cada vez más peligrosa. Los siglos IV y III asisten a la ascensión progresiva pero inexorable del imperialismo romano. Etruria ya no será más que una provincia, entre otras de la Italia romana, conocida realmente gracias a la síntesis de W.V. Harris (Columbia University, Nueva York).[3]

De la etruscomanía a la etruscología

De la investigación acerca de los etruscos se podría decir lo que se dice de la historia de Francia: *«Hay un antes de 1789 y hay un después»*. 1789 es en efecto la fecha de publicación del libro de Luigi Lanzi sobre la lengua etrusca *(Saggio di lingua etrusca)*, que marca el nacimiento de la etruscología como ciencia.[4] Lanzi es el primero en comprender los auténticos vínculos entre civilización griega y civilización etrusca, en apreciar la importancia de la colonización griega en la historia de Occidente, en situar exactamente el espacio de los etruscos en la evolución de la Italia prerromana.

Unos años más tarde (1806) reconocía como griegos los vasos depositados en las tumbas etruscas y que eran importaciones procedentes de Atenas.

La tentativa de L. Lanzi ponía fin a dos siglos de pasiones a veces desenfrenadas. No obstante, sería injusto no ver más que los aspectos negativos de un período que puso a los etruscos en primer plano por razones políticas, pero que constituye un gran momento de historia literaria. Ello comienza con el escocés Thomas Dempster que, entre 1616 y 1618, escribe en Pisa los siete libros de su *De Etruria Regali*. Recordaremos sobre todo que entonces se trataba de proporcionar a los Médicis en decadencia el apoyo de la historia antigua, y de dar al Gran Ducado una identidad histórica y cultural: Dempster fue exhortado por el secretario del Gran Ducado a unir la Toscana de los Médicis con la Etruria antigua. Su libro no será publicado sino un siglo más tarde (1723) coincidiendo con un renovado interés: fundación de la Academia etrusca de Cortona (1726), primera sociedad que se ocupó de los etruscos; descubrimientos de las primeras tumbas de Tarquinia (a partir de 1736); tiene lugar la entrada del conde de Caylus en la Academia de epigrafía y bellas letras, y París comienza a ocuparse a su vez de los etruscos (1742): el secretario perpetuo, Nicolas Fréret va a proponer pronto su tesis del origen septentrional de los etruscos, tema del que volveremos a hablar; el abate Barthélémy realiza su viaje a Italia (1755-1757) mientras Roma se apresta a recibir al gran Winckelmann, fundador de la historia del arte antiguo, pero que nunca será un buen conocedor de los etruscos: en la misma época, Piranesi sabrá situar la aportación etrusca en su intento por reaccionar contra una visión demasiado centrada en Grecia. Pero el ambiente del siglo XVIII quedará como el período de la *etruscheria*, es decir, de polémicas violentas en torno a personalidades ambiguas como Francesco Gori y, sobre todo, Mario Guarnacci. La pasión vence a la ciencia y Arnaldo Momigliano definirá con razón la *etruscheria* como «una verdadera enfermedad de la cultura».

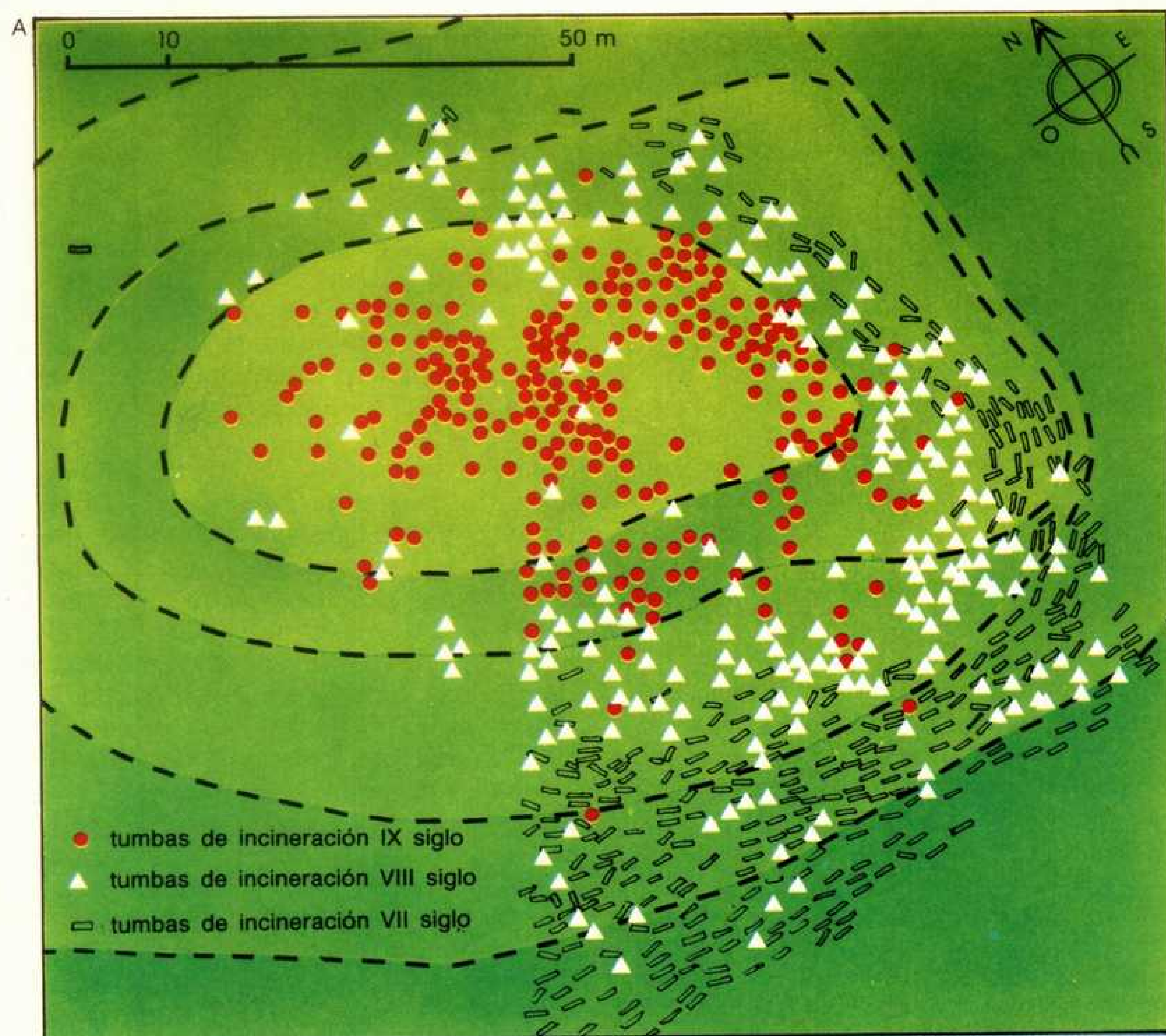
Después de Lanzi todo cambia, inclusive si la polémica sigue siendo demasiado a menudo un elemento constitutivo de la investigación etruscológica. El siglo XIX será el del descubrimiento del país etrusco simbolizado por la publica-

(1) *Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 2* 1985.
(2) M. Torelli, *Storia degli Etruschi*, Bari, 1981.
(3) W.V. Harris, *Rome in Etruria and in Umbria*, Oxford, 1971.
(4) M. Cristofani, *La scoperta degli Etruschi*, Roma, 1983.



Figura 2. El país etrusco abarca una gran parte de Toscana y el Lacio. Tenía una larga fachada marítima con puertos esparcidos por la costa entre Populonia y Pyrgi, lo cual le ponía en contacto, por mediación de las rutas marítimas, con los fenicios y los griegos. Las grandes ciudades etruscas de la costa y del interior estaban unidas entre sí por una unión federal de naturaleza religiosa. Su santuario común debía encontrarse no lejos de Orvieto. La riqueza de Etruria estaba basada no sólo en la agricultura, sino igualmente en la presencia de minas de cobre (indispensables para la fabricación del bronce), de hierro y de plomo que atraían a los comerciantes.

Los etruscos fascinan a Europa desde el siglo XVIII.



ción en 1848 de la obra del inglés G. Dennis, *Cities and Cemeteries of Etruria.* Pero los años 1828-1829 resultan decisivos: en 1828 comienzan las excavaciones de Vulci en las tierras de Luciano Bonaparte, hermano menor de Napoleón y príncipe de Canino; es el principio de una intensa explotación del subsuelo de Toscana que hoy juzgamos severamente porque fue más un pillaje organizado que una investigación científica; pero llenó de objetos los museos y significó la revelación de un arte. El año siguiente, en 1829, se funda en Roma el Instituto de correspondencia arqueológica, especie de Sociedad de Naciones para la arqueología, que publicará numerosas informaciones y trabajos. El final del siglo XIX y el principio del XX estarán ocupados en la continuación de las investigaciones en las necrópolis etruscas y sobre todo en el establecimiento de inventarios de todos los objetos e inscripciones encontrados. Este trabajo de clasificación todavía no ha terminado, pero la informática sirve ahora de valiosa ayuda, aunque aún es muy poco utilizada.

La investigación actual se realiza esencialmente en Italia y sobre todo por italianos: en la posguerra, Massimo Pallottino, que fue mucho tiempo profesor de la universidad de Roma, ha hecho del *Istituto di Studi Etruschi ed Italici* de Florencia el motor de la investigación etruscológica gracias a frecuentes congresos y a una revista, los *Studi Etruschi.* En esta tarea ha sido ayudado por colegas italianos de su generación, pero son sus alumnos directos o indirectos Giovanni Colonna, Mauro Cristofani, Bruno d'Agostino y Mario Torelli, quienes hoy impulsan a una pléyade de sabios de primer rango. Si a ello añadimos la esencial aportación de la enseñanza de Bianchi Bandinelli, que tuvo una influencia decisiva en toda una generación (e incluso más allá de la etruscología), se comprenderá que en este campo hoy no puede hacerse nada sin un estrecho y permanente contacto con la ciencia italiana. Y eso que, fuera de Italia, investigadores de países como Alemania, Gran Bretaña, Bélgica, Estados Unidos, Hungría y Austria realizan trabajos de calidad cuando saben quedar a la escucha de Italia. De igual modo se ha desarrollado una tradición

escandinava como consecuencia del impulso dado en los años sesenta por el rey de Suecia, apasionado de la etruscología.

En Francia, hay una magnífica tradición de estudios desde las excavaciones de St. Gsell en Vulci a fines del siglo XIX y la tesis de Albert Grenier sobre Bolonia en 1912. La enseñanza de Jacques Heurgon –«hermano gemelo» científico de M. Pallottino y durante mucho tiempo profesor en la Sorbona– dio sus frutos, paralelamente al ejemplo de Raymond Bloch y al de Michel Lejeune (lenguas itálicas) en la Escuela práctica de estudios superiores. Actualmente, el equipo del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS), «Investigaciones etrusco-itálicas» dirigido por Dominique Briquel, el Centro Camille-Jullian de Aix-en-Provence con la dirección de Jean–Paul Morel y por último la célula etrusca del Museo del Louvre impulsada por Françoise Gaultier y Marie-Françoise Briguet, tratan de que fructifique un conocimiento de Italia adquirido frecuentemente en la Escuela francesa de Roma –institución clave para el desarrollo de la colaboración francoitaliana, como demuestra la excavación de Musarna, cerca de Viterbo, en colaboración con la Superintendencia de Etruria meridional.

Si Francia no es más que la «hija mayor» de la etruscología, tiene la suerte de ser el país más afectado por la influencia etrusca, aparte de Etruria: la documentación recogida en el Midi (sur de Francia) (Languedoc y Provenza), tierra de elección de los comerciantes etruscos que allí exportaban entonces su vino, es cuantitativa y cualitativamente de un excepcional interés, en tanto que el establecimiento de Aleria excavado por Jean y Laurence Jehasse en la costa oriental corsa es la única metrópolis etrusca más allá de los mares.

Pero en Francia el desarrollo de la etruscología se ve entorpecido por una gran desventaja: la carencia de una enseñanza universitaria específica, dado que no hay «cátedras de etruscología» como en otros países. Unos cuantos etruscólogos enseñan en las universida-



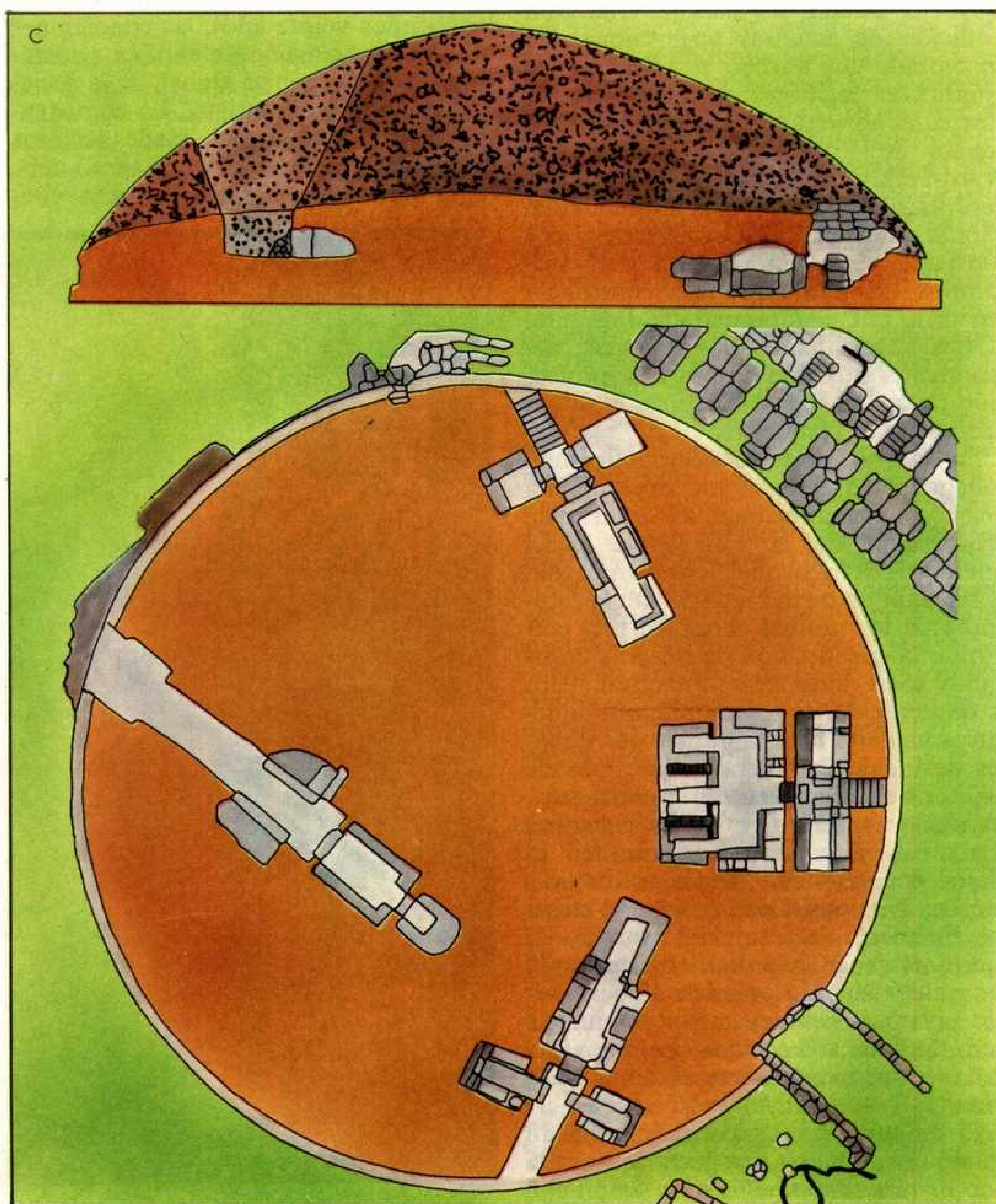


Figura 3. La evolución de la sociedad etrusca aparece nítidamente a través del estudio de las necrópolis y de su organización. Dos de estas necrópolis, la de los «Quattro Fontanili» en Veyes y la de la Banditaccia en Cerveteri, son especialmente interesantes a este respecto. En Veyes (A), las incineraciones (siglos IX-VIII) testimonian el carácter indígena de la sociedad, salida de lo que llamamos la civilización villanoviana. El plano muestra lo que los arqueólogos llaman una «estratigrafía horizontal»: las incineraciones más antiguas (siglo IX) constituyen el núcleo de la necrópolis, en la cumbre de la colina; en un segundo tiempo, se desarrolla un «cinturón» de incineraciones más recientes (siglo VIII); el anillo exterior está constituido por inhumaciones del siglo VII. La necrópolis de Banditaccia (siglo VII) reunía bajo grandes túmulos (B) las tumbas familiares de la aristocracia etrusca. Concebidas a imitación de las habitaciones (C), las tumbas comprenden un corredor de acceso y varias salas con unas banquetas instaladas a lo largo de las paredes para recibir el cuerpo de los difuntos. Poco a poco, esta aristocracia será suplantada en la dirección de los asuntos por una «clase media» que construye las necrópolis con tumbas todas semejantes y alineadas. (Foto B, Scala.)

des, pero deben impartir cursos de latín o de arqueología clásica. Pero he ahí que resulta particularmente difícil formarse en esta disciplina que exige unos conocimientos muy variados (arqueología clásica, filología y lingüística, epigrafía e historia antigua): no podemos comprender Etruria sin conocer las civilizaciones griega y romana.

Un paisaje y unos objetos para escribir una historia

¿Cómo definir las directrices y las tendencias de la investigación actual? Algunas líneas pueden ser individualizadas.

Se concede una atención cada vez mayor al estudio del paisaje. Una gran tradición de estudios anglosajones ha encontrado un terreno privilegiado: el estudio del territorio de Veyes, ciudad etrusca al norte de Roma, por la British School of Roma y su director J.B. Ward-Perkins en los años 1950. Eso ha permitido un mejor conocimiento del hábitat rural en la época etrusca y, por consiguiente, de la relación ciudades-campos[5] así como un mejor control del territorio por la administración de tutela (las superintendencias italianas, actualmente muy activas) para la protección de los lugares y la represión de las excavaciones clandestinas.

La excavación de las necrópolis, muy solicitadas en el siglo XIX, experimenta una clara disminución. Las técnicas de prospección de la Fundación Lerici (método eléctrico que permite no sólo el señalamiento eléctrico sino igualmente la fotografía de las tumbas cerradas) han permitido la constitución de ficheros destinados sobre todo a la protección. Pero la observación de los mobiliarios funerarios ha dado lugar a numerosos trabajos de ideología funeraria: los tipos de objetos que se encuentran en la tumba, su sitio respectivo y las asociaciones son la base de estudios que permiten un mejor conocimiento de las estructuras sociales y mentales de la sociedad etrusca. En efecto, el examen del material indica el rango social del difunto y la naturaleza de las prácticas funerarias. Así podemos conocer mejor al muerto, pero también a la sociedad en que vivía y la visión que entonces se tenía de la muerte.[6]

El enfoque iconográfico es utilizado igualmente en la perspectiva trazada por Bianchi Bandinelli: todo fenómeno artístico sigue siendo impenetrable si no se han comprendido los mecanismos de la creación; la historia del arte, en esta perspectiva, se convierte en interpretación histórica de la forma.[7] Tales análisis necesitan estudios específicos con los mismos documentos iconográficos. Éstos son cada vez mejor conocidos gracias al sueco A. Andrén por las terracotas que adornaban los templos, a Denise Rebuffat-Emmanuel (universidad de París-X) por los espejos decorados con escenas mitológicas y a Erika Simon (universidad de Würzburg) por las representaciones de divinidades;[8] por no citar más que algunos de los trabajos realizados fuera de Italia, donde abundan los estudios de calidad.[9] Pero es la pintura funeraria la que ofrece la más suntuosa documentación con los frescos (fig. 4) encontrados casi intactos en el interior de las cámaras sepulcrales;[10] la pintura etrusca es tanto más preciosa cuanto que la documentación griega contemporánea está casi enteramente perdida y, como muestran los análisis de Agnès Rouveret (universidad de París-X), es una fuente irreemplazable para el estudio de la sociedad.[11]

Pero M. Pallottino y la escuela italiana actual han definido, sobre todo en los últimos veinte años, las condiciones de una aproximación científica e histórica, en consecuencia global, de la sociedad de la Etruria antigua. La compartimentación de las especialidades técnicas (indispensables a nivel de análisis) debe dejar sitio a una coordinación ente filólogos, epigrafistas, lingüistas, historiadores de las religiones, arqueólogos e historiadores, para comprender la dinámica propia de las sociedades, su evolución, su relación con el mundo griego, el acompañante fenicio y luego púnico, el conquistador romano. Esta ojeada sintética se basa naturalmente en una documentación clasificada y en unos análisis regionales para evitar toda visión general, y por consiguiente reductora, de una Etruria que siempre fue diversificada. Ciertamente, queda mucho por hacer hasta poder utilizar más sistemáticamente el cuantioso material que se encuentra en los depósitos de los tres grandes museos etruscos de Italia (Florencia, Vaticano, Roma) y algunos más (entre ellos el Louvre y el British Museum). Los hábitats de las grandes metrópolis siguen siendo relativamente poco conocidos, son en razón de la presencia de una ciudad moderna sobre el emplazamiento de la ciudad antigua (Perusa, Orvieto), sea debido a la ausencia de investigaciones sistemáticas. Ahora bien, cada vez resulta más indispensable enlazar las estructuras y los monumentos sacados a la luz con los objetos, para lecturas estratigráficas que permitan unas dataciones correctas de unos y de otros. Las cronologías, sin dejar de estar relativamente aseguradas, carecen todavía de parámetros. La identificación de los talleres ha progresado en relación a las cerámicas etruscas que imitan la cerámica griega [12], pero está estancada en relación a ciertas producciones locales (la cerámica negra llamada *bucchero*).[*] El material metálico, exceptuando los espejos cuya ornamentación atrajo la atención desde el siglo XIX, sigue siendo insuficientemente conocido. Incontestablemente, la etruscología ha estado un poco eclipsada en el transcurso de los últimos años frente al desarrollo de una arqueología del Lacio que se ha aprovechado de numerosas excavaciones de salvamento efectuadas en la periferia de Roma para apoyar en



(5) T.W. Potter, *The changing landscape of South Etruria*, Londres, 1979.
(6) G. Gnoli, J.P. Vernant (eds.), *La Mort, les morts dans les sociétés anciennes*, Cambridge, 1982.
(7) F.H. Massa-Pairault, *Recherches sur l'art et l'artisanat étrusco-italiques à l'époque hellénistique*, Roma, 1985.
(8) A. Andrén, *Architectural Terracottas from Etrusco-Italic Temples*, Lund-Leipzig, 1940; D. Rebuffat-Emmanuel, *Le miroir étrusque d'après la collection du cabinet des Médailles*, Roma, 1973; E. Simon, *Die Götter der Griechen*, Munich, 1980.
(9) M. Cristofani, *L'arte degli Etruschi. Produzione e consumo*, Turín, 1978; M. Torelli *L'arte degli Etruschi*, Roma-Bari, 1985.

unas bases renovadas nuestra visión del Lacio antiguo. No obstante, son de señalar algunos descubrimientos espectaculares, como los tres panes de oro (fig. 1) inscritos en etrusco y en púnico (uno casi bilingüe, en la medida que estos textos dicen prácticamente lo mismo en dos lenguas diferentes) encontrados en 1964 en Pyrgi, uno de los puertos de Caere, por arqueólogos de la universidad de Roma dirigidos por M. Pallottino y G. Colonna: en realidad, el campo de la escritura y de la lengua es uno de esos en que discretamente se han conseguido algunos resultados incontestables.

Una escritura legible, una lengua aislada

La literatura etrusca, que probablemente abarcaba obras religiosas, analíticas y dramáticas, no ha llegado hasta nosotros. La desaparición de la lengua etrusca durante la dominación del Imperio Romano impidió su transmisión. Pero nos quedan las inscripciones; esta base documental es apreciable: más de 7.500 textos, de los cuales el 90 % están constituidos por inscripciones funerarias muy breves pintadas o grabadas en sarcófagos, urnas, tejas, monolitos y que nos proporcionan el nombre del difunto y con frecuencia el nombre de un objeto que él poseyera (con inscripción en el objeto en cuestión). Tres textos son especialmente largos: el calendario ritual inscrito en una tela utilizada después para envolver una momia egipcia actualmente en el museo de Zagreb (200 líneas y 1.200 palabras); otro calendario ritual entallado sobre una teja encontrada en Capua en Campania (60 líneas); por último, 45 líneas sobre un mojón descubierto cerca de Perusa y que expone un contrato de propiedad rural. Desde 1978 poseemos un instrumento de trabajo de primer orden con el índice referente al léxico del *Thesaurus Linguae Etruscae* que es un compendio de todas las formas conocidas de palabras etruscas; en Roma está en preparación un auténtico vocabulario del etrusco. Estas encuestas se deben al equipo del *Centro di studio per l'archeologia etrusco-italica* de Roma (dirigido por M. Cristofani) y en particular a Maristella Pandolfini.

Ya se conoce bastante bien el mecanismo que llevó a la adopción de un alfabeto de veintiséis letras: a fines del siglo VIII, los etruscos probablemente tomaron su alfabeto de los griegos instalados en la isla de Isquia en el golfo de Nápoles (sabemos que los griegos tomaron el alfabeto de los fenicios). A decir verdad, en Etruria funcionaron paralelamente diversos alfabetos, pero las diferencias son reducidas. Las variantes locales y las evoluciones cronológicas así como las diversas adaptaciones de ningún modo impiden reconocer las letras griegas: es decir que, contrariamente a una frecuente opinión, leemos el etrusco sin problemas (de derecha a izquierda). Probablemente son los etruscos de Caere quienes transmitieron a los latinos (y a Roma) el alfabeto que acababan de recuperar. La cuestión del desciframiento del etrusco no se plantea. En cambio, la lengua etrusca ofrece todavía grandes problemas:[13] conocemos mal la construcción de las frases, las relaciones sintácticas y la función de las formas. El aislamiento de esta lengua es prácticamente total (salvo dos textos de la isla de Lemnos, en el mar Egeo, que son «primos» del etrusco). Igualmente, todas las numerosas tentativas de aficionados por explicar el etrusco a partir de otra lengua (armenio, hitita, sardo, etc.) están destinadas al fracaso. Por lo demás, los personajes de la antigüedad ya sabían que los etruscos hablaban una lengua original, y Dionis de Halicarnaso, un griego que vivía en Roma en la época de Augusto (siglo I) nos lo dijo claramente. Hoy es seguro que el etrusco no se relaciona con el campo indoeuropeo de manera simple. Como dice M. Pallottino *«en el proceso de formación de la lengua etrusca concurrieron –a través de un desarrollo de duración y de circunstancias que no sabríamos precisar, pero que ha debido ser largo y complejo– factores de origen diverso, comunes en parte a los de las lenguas indoeuropeas históricas, ligados en parte a otros medios lingüísticos más o menos fácilmente identificables».*

La reciente investigación se ha aprovechado de un importante aumento de la documentación: cada año los *Studi Etruschi* publican en su sección epigráfica un sustancial catálogo comentado de las nuevas inscripciones descubiertas. Una sugestiva aportación contempla la técnica de análisis y la idea de dedicarse al estudio de la estructura lingüística de la lengua según los métodos de la lingüística moderna.[14] Daría como resultado un mejor conocimiento de la morfología del etrusco. También ha progresado la aproximación fonológica –estudio de los sonidos–: el estudio de los fonemas se basaba en la comparación con los nombres griegos de divinidades o de personajes mitológicos que se encuentran a menudo en los textos etruscos.

Comprender una lengua es indisociable del estudio de las prácticas y de las mentalidades del pueblo que la practicaba. Estudiar la manera en que las gentes se llamaban[15] revela la organización de la familia, las estructuras de parentesco, el puesto de los individuos en la comu-

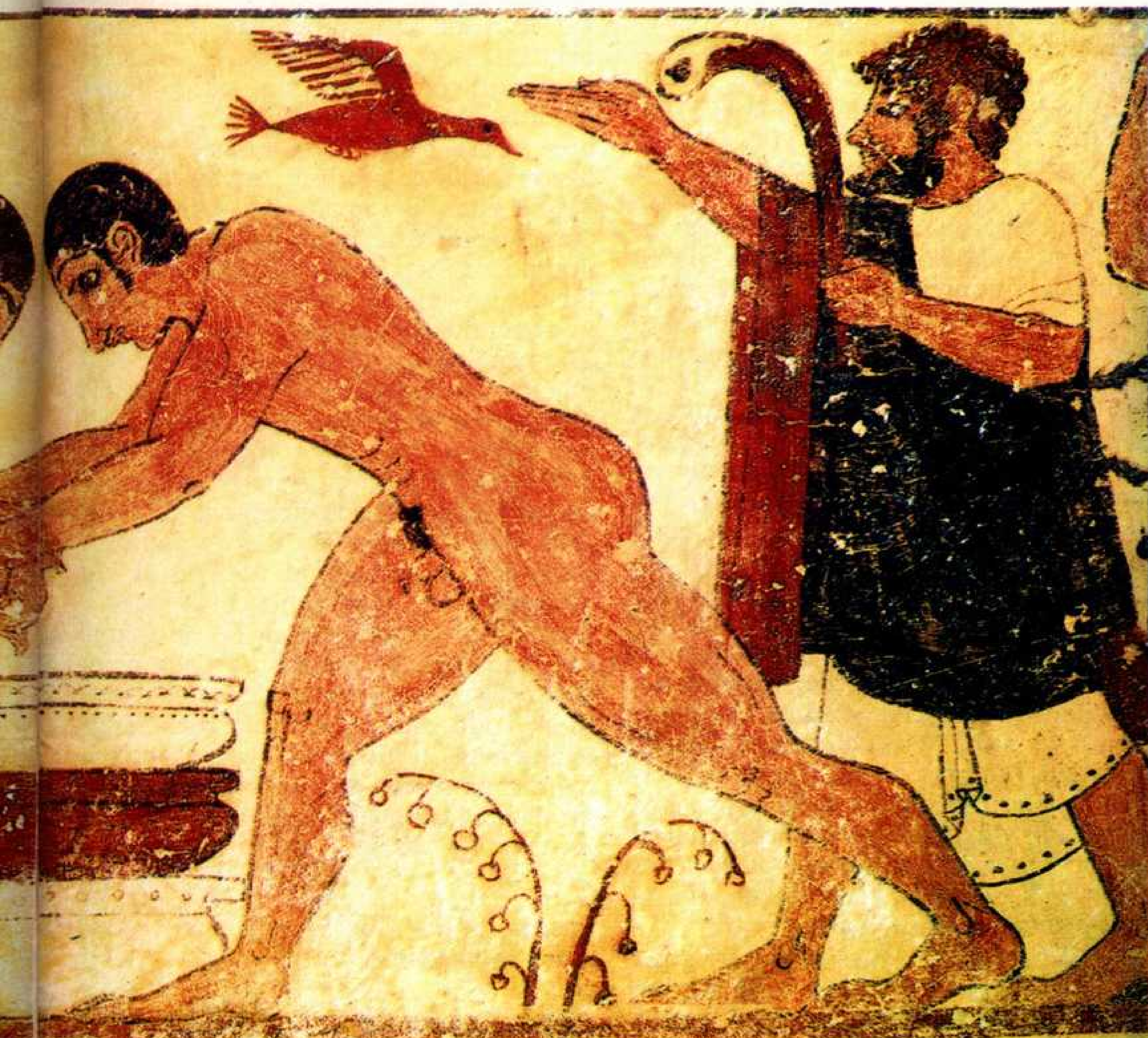


Figura 4. La pintura funeraria etrusca ofrece una documentación suntuosa y tanto más valiosa cuanto que es una fuente irremplazable para el estudio de la sociedad. 150 tumbas de la necrópolis de Tarquinia han dado unos frescos a veces intactos y, entre ellas, la tumba denominada de los «Augures» (540-530 a. de J.C.) que representa a dos luchadores compitiendo para conseguir el premio consistente en tres calderos, bajo la égida de un juez, el Tevarah. *Este magistrado-sacerdote tiene el bastón curvado símbolo de su poder, y su presencia hace que los juegos etruscos aparezcan como manifestaciones religiosas y no profanas. (Foto Scala.)*

(10) S. Steingräber, *Catalogo ragionato della pittura etrusca,* Milán, 1984.
(11) *Revue Archéologique, 1,* 15, 1974.
(12) M.A. Del Chiaro, *Etruscan Red figured Vase painting at Caere,* Berkeley, 1974; V. Jolivet, *Recherches sur la céramique étrusque à figures rouges tardive du Musée du Louvre,* París, 1982.
(13) M. Pallottino, *La langue étrusque, problèmes et perspectives,* París, 1978.
(14) H. Rix, «La scrittura e la lingua» *in* M. Cristofani (dir. de), *Gli Etruschi una nuova immagine,* Giunti Martello, Florencia, 1984.
(15) H. Rix, *Das etruskische Cognomen,* Wiesbaden, 1963.

Para griegos y romanos, el etrusco es un bárbaro peligroso porque es civilizado.

nidad; las inscripciones de posesión indican una relación del hombre con el objeto, pero también nos informan acerca de prácticas como la ofrenda y la contraofrenda cuyo cometido en las sociedades primitivas es suficientemente conocido desde Marcel Mauss. De este modo, la aportación de los epigrafistas y de los lingüistas resulta fundamental[16] para el conocimiento de una sociedad etrusca que igualmente va precisándose gracias a una nueva forma de abordar el problema de sus orígenes.

Los etruscos y el Mediterráneo

Contrariamente a la visión tradicional, los etruscos no desembarcaron, un buen día, en las costas toscanas ¡procedentes de lejanas riberas orientales! Plantear la cuestión del origen de un pueblo, a menudo es plantear un falso problema. No tiene sentido sino en casos muy particulares: efectivamente, se puede decir de tal población bárbara que viene de tal o cual región, en el contexto de la época de las grandes invasiones. Pero, si bien se piensa, de este modo no se plantea más que el problema de la procedencia, no el del origen. Explicar de dónde venían los etruscos no es más que la primera etapa para examinar las condiciones y las características de la formación de una etnia, es decir, de un grupo de individuos más o menos numerosos y que presentan unos rasgos comunes de civilización. Realmente, es preciso reconocer que los modernos no son totalmente responsables de este terror de análisis: la culpa corresponde a Herodoto, historiador griego del siglo V a. de J.C. y a Dionís de Halicarnaso, que vivió en el siglo I a. de J.C.

Recordemos sus testimonios. Herodoto (I, 94) analizando las costumbres de los lidios (Lidia es una parte de la actual Turquía), hace un paréntesis para explicar cómo estos lidios fueron los inventores de los juegos (dados, taba, juegos de pelota): durante el reinado de su segundo rey, un tal Atis, se padeció mucha hambre. Para no pensar en comer, los lidios se pusieron a jugar: un día jugaban sin comer y el otro comían sin jugar (¡se comprende la eficacia del procedimiento!). Tardaron dieciocho años en comprender que la situación era insostenible: entonces el rey Atis dividió a su pueblo en dos y una mitad abandonó el país guiados por Tirrenos, hijo del rey: embarcaron en Esmirna y acabaron por instalarse en Umbría (región de Perusa en Italia central). Tomaron el nombre de tirrenos, nombre por el cual los griegos designarían a los etruscos pasado el tiempo.

Dionís, cuatrocientos años después, no creía una palabra del relato de Herodoto. Comprobaba (I, 30) que entre lidios y etruscos no había ningún rasgo común (dioses, lengua, leyes, costumbres). Recordaba que probablemente algunos tienen razón al decir que los etruscos no son inmigrados, sino que pertenecen a un pueblo indígena, es decir, que siempre ha estado allí.

En base a esta querella de los Antiguos, los Modernos construyeron la cuestión de los orígenes añadiéndole una tercera versión. En el siglo XVIII, N. Fréret –observando que el nombre indígena de los etruscos era *Rasenna* (información proporcionada por Dionís)– creyó poder vincularlos con los *Raeti* (Retia), tribu alpina de la región de los grisones. Esta teoría, que en Alemania obtuvo un gran éxito en el siglo XIX, podía basarse en ciertas comparaciones lingüísticas.

Observemos en primer lugar que el desarrollo de una teoría de los orígenes se ha visto facilitada enormemente por la impresión de que los etruscos no eran un pueblo como los demás. Esta impresión se debía esencialmente al hecho de que conocemos a los etruscos por el testimonio de sus vecinos, griegos y romanos, que fueron también sus competidores y sus enemigos: los etruscos vistos por los demás han sido descritos como marginales y originales. Unos cuantos ejemplos bastarán para convencernos. En el siglo IV a. de J.C., el historiador griego Teopompo describe las extrañas costumbres de los etruscos: las mujeres son comunes a todos los hombres; se muestran desnudas, hacen gimnasia y comen con los hombres; los niños no saben a quién tienen por padre; las parejas hacen el amor sin ocultarse. Las prácticas religiosas son juzgadas igualmente con severidad: Etruria es *«la madre de todas las supersticiones»* dice Arnobo en el siglo III de nuestra era; sus habitantes practican curiosos ritos, como la hepatoscopia (examen del hígado de las víctimas); un calendario «brontoscópico», traducido del etrusco a fines de la República Romana, daba el significado de los truenos para todos los días del año; sobre todo, la religión era una religión revelada (como la judía y la cristiana); Etruria tenía sus profetas, como Tagés de Tarquinia, que parecía un niño y pensaba como un viejo. Se puede decir que el campo religioso es uno de los sectores clave, y en plena renovación, de la investigación etruscológica.[17]

Así, el etrusco es mirado por griegos y romanos como un ser curioso que no piensa ni actúa como ellos. Se desconfía de él: el etrusco es peligroso en el mar como lo es en tierra; es el pirata por antonomasia. Su imagen en la literatura grecorromana se supone extremadamente turbadora por razones políticas, económicas y mentales. Resulta un bárbaro tanto más peligroso cuanto que ha alcanzado un nivel de civilización elevado, porque de su contacto con el mundo griego ha sabido extraer una lección original.

Se ve, pues, el contexto que explica la elaboración del mito de los orígenes. Un pueblo tan curioso no podía sino venir de otra parte: el origen exótico era la única explicación de su originalidad.

Una visión renovada por la arqueología

A partir de esta situación, resultado de un examen de las fuentes literarias, los arqueólogos han tratado de comprender mejor la realidad etrusca. Excavar para comprender y no simplemente para descubrir es, desde hace varios decenios, el único objetivo de los arqueólogos profesionales. A partir de los años sesenta, empezaron a considerar las tumbas no como un receptáculo de bellos objetos sino como un conjunto estructurado de objetos significantes. Paralelamente, era apasionante excavar las habitaciones de los vivos pese a la modestia de los hallazgos artísticos. Se comprendió que los más humildes fragmentos de vasos de uso corriente eran portadores de enseñanzas extremadamente ricas. Los arqueólogos comenzaban a trabajar en series de objetos, poniendo de manifiesto unos movimientos de larga duración, pero también crisis, rupturas o fenómenos más ligados a la coyuntura. En los últimos veinte años, los análisis se han perfeccionado. De este modo se apercibieron de que en Etruria no solo había objetos fabricados en el mismo lugar según unas tradiciones locales y algunos objetos importados de fuera, sino también objetos fabricados en el lugar por gentes venidas de fuera (fig. 5) y en fin, algunos objetos fabricados en el lugar por artesanos locales que trataban de imitar importaciones. Toda una serie de estudios han permitido perfilar los talleres, incluso la personalidad de artistas y/o de artesanos. Hoy conocemos pues a decenas de personajes por las obras que nos han dejado; incluso se llega a reconstituir la «carrera» de estos hombres. Todo esto permite ilustrar ciertas evoluciones estilísticas, pero también los movimientos de personas y, así, los problemas tradicionales pueden fundarse en otras bases.

Etruria, tierra abierta a las influencias

Los griegos, que frecuentaban los puertos y las ciudades etruscas, eran a menudo como los fenicios, orientales: muchos de ellos procedían de las ciudades griegas de la costa de Asia Menor (la costa turca actual) o de las islas vecinas como Samos y Rodas. Estos comerciantes frecuentaban también el Oriente e iban hasta Naucratis, la gran factoría del delta del Nilo. Llevaban, lo mismo que sus compañeros fenicios, objetos fabricados en el Urartu, entre el mar Negro y el mar Caspio, y en el Cáucaso. Eran vehículo no sólo de pres-

(16) C. de Simone, *Die griechischen Entlehnungen im Etruskischen* Wiesbaden, 1968-1970.

(17) C.O. Thulin, *Die etruskische Disziplin*, Göteborg, 1909; A.J. Pfiffig, *Religio etrusca*, Graz, 1975; R. Bloch, *La divination dans l'Antiquité*, París 1984; C. Guittard (dir. de), *La divination dans le monde étrusco-italique*, supl. en *Caesarodunum*, Tours, 1985-1986.

tigiosos objetos en bronce sino también de técnicas e influencias estilísticas. Todo ello reservado a la élite aristocrática etrusca que en el siglo VII era todopoderosa: estas importaciones servían para dar un sello de prestigio a los aristócratas que los poseían y que se hacían enterrar con estos espléndidos adornos venidos de lejos. Pero poco a poco, toda la civilización etrusca estuvo «empapada» de esas aportaciones orientales: es lo que llamamos la cultura orientalizante de la Etruria del siglo VII a. de J.C.[18]

En el siglo siguiente se franquea una nueva etapa cuando los artesanos griegos de Asia Menor vinieron a establecerse en un número cada vez mayor. Estos emigrados huían ante el empuje de los persas que amenazaban las ciudades griegas de la costa. Intentaron ir a Córcega –en Aleria, en la costa oriental– pero no se quedaron. Muchos trabajos, en particular los de Marina Martelli (universidad de Urbino) demuestran que entonces se instalaron en las grandes ciudades costeras de la Etruria meridional (Vulci, Tarquinia, Cerveteri) y provocaron la eclosión de un clima cultural «jonio».

En consecuencia, ahora comprendemos mejor por qué un griego de Asia como Herodoto (era originario de Halicarnaso al sur de Asia Menor) podía contar en el siglo siguiente una historia como la de la migración lidia. Estos lidios eran precisamente los indígenas que se encontraban en contacto con las ciudades griegas de la costa antes de la llegada de los persas. Estaban, también ellos, profundamente helenizados. Herodoto, que residió mucho tiempo en el sur de Italia, en ambiente griego colonial, no podía más que creer en un posible paralelo entre la situación de la Grecia de Asia y la de la Italia central: aquí como allá, griegos en la costa e indígenas helenizados. El relato herodotiano disimula probablemente una serie de confusiones entre las salidas de emigrados griegos hacia la Etruria del siglo VI y la idea de que una aportación lidia había originado esta cultura jonia de Etruria que floreció en el siglo VI. En cierta manera, Etruria era «oriental».

El estudio de la formación de una civilización permite, pues, plantear mejor los problemas. Los pueblos no se desplazan de punta a punta del Mediterráneo como peones sobre un tablero de ajedrez. Pero sobre el fondo indígena de la Etruria villanoviana del siglo VIII fueron a incorporarse ciertas aportaciones de influencias, de técnicas y de artesanos que contribuyeron al nacimiento de la Etruria orientalizante y después jonia. El genio cultural de Etruria es precisamente haber sabido integrar estos componentes griegos y orientales para elaborar una civilización original que jamás perderá de vista sus raíces indígenas itálicas: junto a alfareros helenizados que fabrican en Etruria vasos etrusco-corintios (que imitan la cerámica de la ciudad griega de Corinto), bien conocidos gracias al húngaro J.G. Szilàgyi,[19] otros alfareros continúan torneando búcaros etruscos, de un negro brillante y metálico perteneciente a la gran tradición de la cerámica local villanoviana *(impasto)* y que han sido estudiados por T. Rasmussen, F.W. von Hase y J. Gran Aymerich.

Y veremos cómo los etruscos pondrán de manifiesto esta cerámica «casera» cuando para ellos proceda ejercer una acción dinámica y exportadora en el Mediterráneo.



Figura 5. La producción cerámica de los etruscos era extremadamente variada y reflejaba perfectamente la diversidad cultural de esta sociedad, profundamente itálica y al mismo tiempo surcada de influencias griegas y orientales. El artista que pintó esta hidriavaso de agua de tres asas parece haber sido un griego emigrado desde la región de Focea, al norte de Asia Menor. Este vaso fue fabricado en Cerveteri en la segunda mitad del siglo VI a. de J.C. y conocemos una cuarentena de hidrias pertenecientes a la misma serie. La decoración representa el momento de dejar ciego al cíclope Polifemo por los compañeros de Ulises, tal como nos es descrito por Homero. (Foto Scala.)

Una economía dinámica

Las páginas precedentes podrían dar la impresión de una Etruria relativamente pasiva, que se contentaba con recibir aportaciones externas y asimilarlas. No hay nada de eso, y hoy podemos emitir un juicio matizado acerca de la aventura mediterránea de los etruscos sin reducirla por tanto a la (falsa) teoría del origen oriental o a la visión, apreciada por ciertos nacionalistas italianos del *Risorgimento* o del período fascista, de un «imperialismo» etrusco en los mares.

Para afrontar esta problemática, previamente se deben plantear un cierto número de cuestiones metodológicas. ¿En qué podemos apoyarnos para demostrar la existencia de una (o de varias) «políticas mediterráneas» de las ciudades etruscas? Estos experimentos económicos ¿son el resultado de una situación económica interna en el marco de la exportación de excedentes agrícolas o resultan de una voluntad política del grupo social más sobresaliente? ¿Dan lugar a exportaciones de productos y de objetos solicitados por unos clientes que dictan su ley?

Todas estas cuestiones son legítimas. Antes de responder a ellas es necesario,

(18) I. Strom, *Problems concerning the origin and early development of the Etruscan orientalizing style,* Odense, 1971.

(19) J.G. Szilàgyi, *Studi Etruschi, 40,* 19, 1972.

El vino etrusco era exportado a Languedoc y a Provenza.

sin embargo, recordar que la historia económica de un período tan antiguo no puede construirse con unos conceptos que nos llevarían a una visión demasiado «modernista» de las cosas. Nos encontramos en un Mediterráneo que no conoce aún la moneda (algunas ciudades griegas empiezan a acuñar moneda, pero el uso no se ha extendido y Etruria permaneció mucho tiempo fuera de la circulación monetaria, no acuñando más que después del siglo V).[20] Los intercambios todavía ostentan un lado primitivo: se trata de procurarse materias primas (esencialmente metal, pero también madera) o productos agrícolas (cereales, aceite, vino) y tejidos, por no hablar del comercio de esclavos, ciertamente extendido. Los griegos y los fenicios, desde el siglo VIII, distribuyen en Occidente algunos productos salidos de sus talleres o venidos de Oriente: calderos y armas de bronce, objetos preciosos, cerámicas finamente decoradas, que no siempre están adaptadas al transporte de un producto, pero tienen valor por sí mismas. Etruria es una de las regiones de Occidente que más atrae a los comerciantes debido a las minas de cobre (indispensable con el estaño para la fabricación del bronce), de hierro y de plomo argentífero que se encuentran en la isla de Elba y en frente, en el continente.[21] Los colonos griegos instalados en regiones donde el mineral falta (Sicilia) o es escaso (Italia meridional) debían mirar fatalmente hacia Etruria; los fenicios también, aunque ocupaban las otras dos grandes regiones metalíferas del Mediterráneo occidental (Cerdeña y el sur de España).

Estos intercambios no obedecen todavía a las leyes del mercado, tal y como el capitalismo las ha definido. Esto quiere decir que los intercambios no condicionan totalmente la producción. No obstante, importa señalar que el experimento etrusco cursa precisamente en uno de los momentos en que el intercambio empieza a condicionar parcialmente la producción: ya no se trata pues de un trueque primitivo, sino de un tráfico que se puede calificar de «precapitalista» si queremos emplear el lenguaje de Marx. Por lo demás, estos mecanismos no resultan comprensibles más que si los consideramos a la luz de los estudios de antropología económica: en otras palabras este «comercio» no obedece ni a una búsqueda exclusiva de la rentabilidad, ni incluso a una política racional. Un cierto número de prácticas «primitivas» siguen parasitando estos intercambios, que están destinados igualmente a tejer lazos de amistad con algunas personas o a realzar el prestigio de un individuo. Lo económico está entonces adherido a lo social.

Un buen ejemplo lo proporciona el estudio del comercio etrusco hacia Galia del Sur. Desde 1947, los arqueólogos que trabajan en Languedoc y en Provenza advirtieron que a menudo encontraban fragmentos de cerámicas y de ánforas etruscas. Numerosos trabajos, en particular los de Michel Py en el Languedoc y de Bernad Bouloumié referidos a Provenza, han mostrado que había una relación en una exportación masiva de vino etrusco hacia el Mediodía (que todavía no conocía la viña).

En el marco de este comercio marítimo, los cargamentos tenían unas curiosas certificaciones: en los escasos pecios etruscos que conocemos y que son los restos de navíos que naufragaron a lo largo de la Costa Azul, nos vimos sorprendidos al encontrar un material heterogéneo: ánforas etruscas, pero igualmente griegas, pequeños vasos de cerámica (especialmente unas copas para beber provistas de dos grandes asas: los cántaros). En uno de estos pecios descubierto en el Cabo de Antibes, que parece etrusco (ya que la mayor parte del material es etrusco), se encontraba una lámpara púnica usada, mientras los demás objetos parecían nuevos.

Esta mezcla de objetos heteróclitos da la exacta medida de lo que era el comercio arcaico: un comercio de redistribución, con numerosos intermediarios, que se aprovechaba de la técnica de navegación por cabotaje para completar su carga. Los pequeños vasos acompañantes tienen una función que no está clara: testifican el origen del cargamento de base, pero constituyen la herencia de las viejas prácticas de la dádiva: son el instrumento del encuentro entre el comerciante y el indígena, pues la copa es ante todo el vaso de la libación, de la ofrenda a los dioses.

Pero, al mismo tiempo, algunos indicios nos muestran que se está realizando un esfuerzo de racionalización. Los vasos para beber son las más de las veces unos cántaros, de forma y de tamaño idénticos, provistos de un mínimo de adorno. Progresivamente, se comprueba que esta forma de vaso se despoja, se estandariza; por primera vez se extrae la impresión de una producción en serie destinada a la exportación (los cántaros encontrados en Etruria son muy variados, y de un solo tipo los exportados). Las ánforas utilizadas para transportar el vino (o, en algunos casos el aceite, todo ello demostrable por medio de análisis fisicoquímicos) parecen igualmente haber sido producidas para la exportación. Todo eso supone, pues, una voluntad política: en realidad, parece que las ciudades etruscas que se dedican a tal tráfico (Vulci y Caere especialmente) controlan las campiñas y organizan esta exportación de productos agrícolas.

Este intenso comercio (en el Mediodía se han descubierto decenas de miles de fragmentos de ánforas etruscas) provoca a su vez disturbios sociales y, en el transcurso del siglo VI, asistimos al ocaso de las viejas aristocracias, que probablemente no han podido administrar estas iniciativas económicas, y a la aparición de nuevas categorías sociales de artesanos y mercaderes, enriquecidos por tal comercio.

Los etruscos no son finalmente más que una civilización de la Italia prerromana entre tantas otras. Deben una gran parte de su éxito, desde hace más de dos siglos, a la manera en que han sabido impregnarse de helenismo. De ahí procede su «superioridad» respecto a sus vecinos ligures, vénetos, umbrios, faliscos o sabinos.

La investigación actual no omite poner de manifiesto su identidad itálica.[22] Los etruscos no pueden ser analizados verdaderamente más que en el doble contexto de un Mediterráneo abierto al helenismo (y a Oriente) y de una Italia, rica en culturas regionales elaboradas. Al tratar de esclarecer los mecanismos de una sociedad, los etruscólogos saben que no eligen la vía de lo espectacular. Pero una civilización antigua para nosotros ya no es una colección de objetos recogidos aquí y allá: no puede comprenderse más que estudiando su estructura, y es esta identidad profunda la que, por encima de los juicios estéticos que pasan, permite comprender y explicar un arte. ■

(20) *Annali dell'Istituto italiano di numismatica*, supl. 22, 1976.
(21) *L'Etruria mineraria, atti del XII convegno di Studi Etruschi ed Italici*, Florencia, 1981.
(*) De la voz española *búcaro*, nombre que se da a unas arcillas que se encuentran en diversas partes de América.

Para más información:

Un manual fundamental y atractivo:
- J. Heurgon, *La vie quotidienne chez les Etrusques*, Hachette, Paris, 2.ª edición 1979.
- R. Bloch, *Les Etrusques*, París, PUF, 1954, 7.ª edición (complementos) 1984.
- J. Heurgon, *Rome et la Méditerranée occidentale jusqu'aux guerres puniques*, París, PUF, 2.ª edición, 1980.
- A. Hus, *Les Etrusques et leur destin*,- París, Picard, 1980.
- M. Cristofani (dir. de), *Dizionario della civiltà etrusca*, Florencia, 1985.

Recensión más reciente:
- M. Cristofani *et al.*, *Les Etrusques*, París, Nathan, 1986.

Tesis recientes:
- D. Briquel, *Les Pélasges en Italie. Recherches sur l'histoire de la légende*, BEFAR, Roma (dif. De Boccard), 1984.
- J.R. Jannot, *Les reliefs archaïques de Chiusi*, Roma (dif. De Boccard) 1984.
- J.P. Thuillier, *Les jeux athlétiques dans la civilisation étrusque*, BEFAR, Roma 1985.
- F.H Massa-Pairault, *Recherches sur l'art et l'artisanat étrusco-italiques à l'époque hellénistique*, BEFAR, Roma (dif. De Boccard), 1985.
- M. Gras. *Trafics tyrrhéniens archaïques*, BEFAR, Roma (dif. De Boccard), 1985.

Acerca del material etrusco descubierto en el Mediodía de Francia: *Le bucchero nero étrusque et sa diffusion en Gaule méridionale*, (Col. *Latomus*, 160), Bruselas, 1979, actas de la mesa redonda de Aix-en-Provence (mayo 1975).

colección Ciencias
LIBROS PARA LOS LECTORES DE MUNDO CIENTIFICO

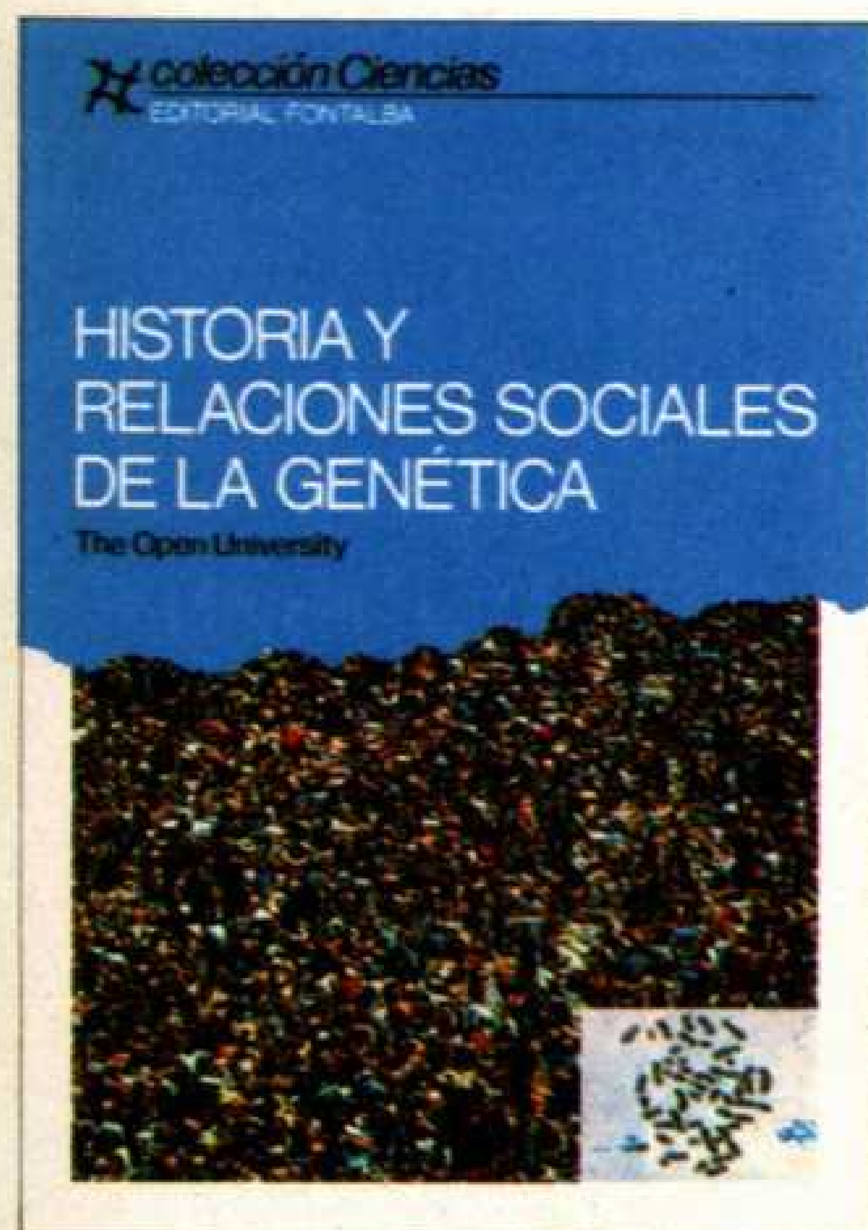
LA RECHERCHE, *versión en castellano*



LA TRASTIENDA DEL SABIO (Profusamente ilustrada)

¿Cuál es el significado social de la ciencia?
Pierre Thuillier hace una crítica rigurosa sin olvidar la ironía ni la anécdota y plantea una de las más importantes cuestiones de este fin de siglo: ¿cuál es la finalidad de la ciencia?
Un libro apasionante, corrosivo y profusamente ilustrado.

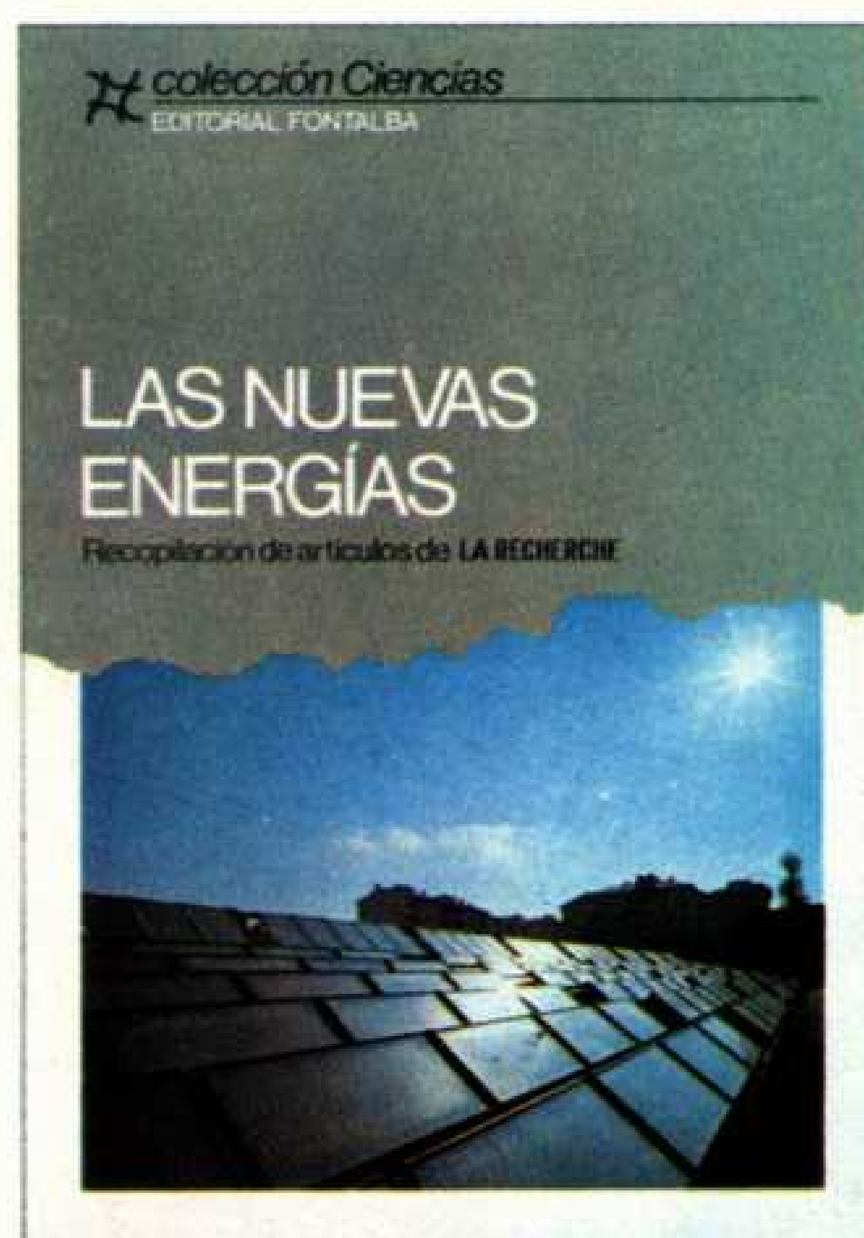
Formato: 29 × 21 cm – Páginas: 120 – Fotografías e ilustraciones.
P.V.P.: 1.100 ptas.



HISTORIA Y RELACIONES SOCIALES DE LA GENÉTICA

¿Por qué unas determinadas ideas científicas o ciertas tecnologías surgen en un momento dado?
¿Cuál ha sido la relación entre la genética y la sociedad a lo largo de la historia?

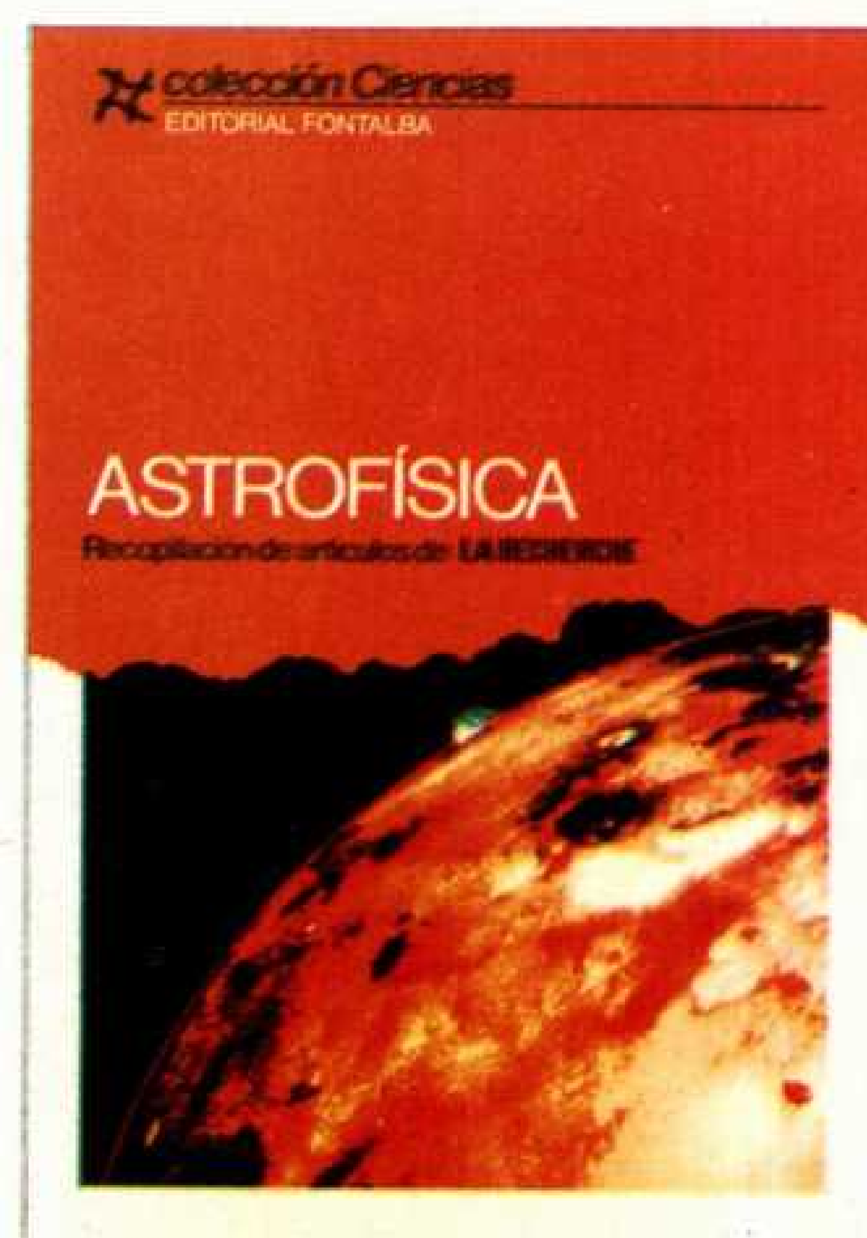
Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 192 – Fotografías e ilustraciones.
P.V.P.: 600 ptas.



LAS NUEVAS ENERGÍAS

La crisis ha llevado a un desarrollo masivo de las investigaciones sobre las fuentes y los medios de producción de energías cada vez más diversas.
Los conocimientos y proyectos actuales de la investigación sobre las nuevas energías.

Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 274 – Fotografías e ilustraciones.
P.V.P.: 950 ptas.



ASTROFÍSICA

Interdisciplinaria por naturaleza, la astrofísica es hoy un campo donde se cotejan y enriquecen mutuamente las disciplinas científicas modernas. El balance de la investigación en astrofísica realizado por los mejores especialistas.

Formato: 21 × 14,5 cm – Páginas: 210 – Fotografías e ilustraciones.
P.V.P.: 950 ptas.

ENVÍE O COPIE EL CUPÓN-PEDIDO A Editorial Fontalba, s.a.
VALENCIA, 359 - 6.º
BARCELONA-9 (ESPAÑA)
TELS. (93) 258 55 07/258 55 08

CUPÓN-PEDIDO

Ruego que se sirvan enviarme los siguientes libros contrarrembolso (libre gastos de envío).

N.º Ejemplares	Título	Precio
	TOTAL	

Nombre ____________________

Domicilio ____________________

Población ____________________ C.P. ______

Provincia ____________________

Cuyo pago efectuaré mediante:
☐ Talón bancario adjunto
☐ Contrarrembolso.

Acta de constitución.

A las once de la mañana del día 15 de Enero de 1907 se reunieron en el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, con objeto de constituir la Junta para ampliación de estudios é investigaciones científicas, creada por Real Decreto de 11 del mismo mes y año, previa citación del Exmo. Sr. Ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes, y bajo su presidencia, los Señores Ramón y Cajal, Sorolla, Santa María de Paredes, San Martín, Calleja, Vincenti, Simarro, Bolívar, Menendez Pidal, Casares, Alvarez Buylla, Rodriguez Carracido, Ribera, Torres Quevedo, Fernandez Ascarza y el que redacta esta acta. Excusaron su asistencia los Señores Azcárate y Echegaray comunicando ambos que aceptaban el cargo. Tampoco asistieron los Señores Menendez y Pelayo, Cortázar, Marvá y Fernandez Jimenez. Se dió lectura al Real decreto de 11 de Enero del corriente año creando la Junta, y el Sr. Ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes la dió por constituida añadiendo algunas explicaciones sobre los fines á que estaba llamada su importancia y su necesidad. El Sr. Santa María de Paredes dió las gracias en nombre de todos los Vocales y aplaudió la idea que es además desarrollo de su iniciativa creando en el Ministerio un servicio de información técnica y relaciones con el Extranjero.

El Sr. Vincenti hizo algunas observaciones sobre la provisión de auxiliarias en pensionados y sobre las dificultades que pudiera encontrar el régimen económico de la Junta.

El Sr. Ministro contestó dando algunas explicaciones. Manifestó después su agradecimiento á los concurrentes y abandonó la reunión.

El Sr. Calleja manifestó que siendo lo primero el nombramiento de Presidente había para ese cargo dos nombres que estaban en la conciencia de todos: los señores Echegaray y Cajal, pero habién

do el primero anticipado que no aceptaría, proponía al Sr. Cajal como Presidente de la Junta.
Se excusó el Sr. Cajal alegando que carecía de categoría política y no conocía bien la Administración. Insistieron varios Señores y quedó elegido por unanimidad Presidente el Sr. Ramón y Cajal.
A continuación se digieron, también por unanimidad, primer Vicepresidente al Sr. Azcárate y segundo al Sr. de Torres Quevedo.
El Sr. Sant.ª María propuso que el Secretario redactase un proyecto de Reglamento, lo sometiera á la aprobación de la mesa y se trajera á Junta general para su discusión y aprobación definitiva. Así se acordó.
Y no habiendo mas asuntos de que tratar el Sr. Presidente levantó la sesión.

Vº Bº
El Presidente
Cajal

El Secretario.
José Castillejo

Figura 1. Acta de constitución de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas reproducida de la edición facsímil publicada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas el año 1985.

La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas: la vida breve de una fundación ahora octogenaria

por Antonio Moreno y José M. Sánchez Ron

La Junta para ampliación de Estudios (JAE), fundada en 1907 y disuelta en 1938, fue el organismo con el que puede decirse que culminó un proceso lento y polémico de renovación pedagógica e iniciación científica en España. Un proceso que según sus impulsores pretendía la modernización o europeización española, deseo éste ampliamente difundido por todos los sectores de la cultura nacional durante el siglo XIX, pero contradictoriamente concebido por unos u otros.

Antonio Moreno, es profesor titular de Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Complutense de Madrid.
José M.Sánchez Ron es profesor titular de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid.

Desde el ámbito tímidamente reformista, más receloso y confesional, se temía que la modernidad procedente del sector krausista, inspirador al fin de la JAE, fuera un acto de barbarie que descristianizara de cuajo la piadosa sociedad española. Desde esta actitud en defensa de la fe se llega a disparates como el de considerar a las gentes del Norte peninsular como dotadas de un alma tradicional y católica, por el hecho de que desde el Norte se inició la reconquista peninsular, en tanto que las gentes del Sur, las de las tierras que primero pisaron los invasores, tenían un alma antitradicional y laica. Y todo ello para justificar la figura del santanderino Marcelino Menéndez y Pelayo, enarbolado como señera impoluta por la autodenominada España nacional, en contraposición al malagueño Francisco Giner de los Ríos, considerado como mentor decisivo de aquella modernidad sectaria y –lo más temible, en opinión de los partidarios del Norte– masónica. Se temía, en definitiva, que la cruz fuera sustituida por el triángulo.

Desde luego está fuera de dudas que algunos propagandistas de las nuevas ideas, manifiestamente laicas, eran masones. Pero ya es hora de eliminar sambenitos. Que fueran masones –quienes lo fueran–, que tuvieran un comportamiento más gremial que gregario –como así fue– y que gozaran de privilegios muy caros a otros, no es motivo para cuestionar la evidencia de que promovieron un ambiente, digamos intelectual en un sentido amplio, envidiable, difícilmente repetible y desde luego trascendente para el inventario de la cultura española del siglo XX.

Dicho esto, indicativo del maremagnum ideológico del último cuarto del XIX, veamos algunos de los aspectos más significativos que sustentan la creación de la JAE en enero de 1907.

Año 1876

Fracasada la consolidación de la 1.ª República vuelve a la cartera de Fomento el ultramontano Orovio, famoso por sus circulares y decretos con los que pretendiendo combatir su temor al «vértigo revolucionario» provocó antes y después de la «gloriosa» las llamadas cuestiones universitarias.

La consecuencia primera de la segunda cuestión universitaria es la separación de un grupo de catedráticos de la enseñanza oficial. Reunidos éstos, crean la Institución Libre de Enseñanza (ILE), constituida estatutariamente el 31/5/1876 y autorizada por R.O. de 16/8/1876. Figuraba como Presidente de la Junta Directiva Laureano Figuerola, ex ministro de Hacienda y catedrático de la Universidad de Madrid. Entre los miembros de la Junta Facultativa de la ILE estaban Gumersindo Azcárate, Laureano y Salvador Calderón, Joaquín Costa, Francisco y Hermenegildo Giner de los Ríos, Segismundo Moret, Nicolás Salmerón, Juan Valera...

Se trataba de una Asociación formada por Accionistas que en el art. 15 de sus Estatutos determinan: «La Institución Libre de Enseñanza es completamente ajena a todo espíritu e interés de cuestión religiosa, escuela filosófica o partido político; proclamando tan sólo el principio de la libertad e inviolabilidad de la ciencia y de la consiguiente independencia de su indagación y exposición respecto de cualquiera otra autoridad que la de la propia conciencia del Profesor, único responsable de sus doctrinas».

El credo –o mejor el descreimiento– de la ILE queda así manifiesto y será tenido en cuenta en las actividades de la propia Institución y en la de los organismos afines. Advirtamos que la independencia política, reiterada sobre todo en los escritos de Giner, fue más una declaración ética que una realidad. Desde el origen de la ILE hay personas políticamente activas que, por otra parte y gracias a un hábil entendimiento entre fuerzas contrarias manteniendo durante la Restauración, hicieron posible el desarrollo y extensión de la Institución con el beneplácito más o menos dificultado, pero siempre sostenido, de la política educativa oficial. No obstante, la ILE propiamente dicha nunca recibió dinero público; se mantuvo con las cuotas de los accionistas y con los donativos, espléndidos a veces, que recibía.

El número de accionistas iniciadores fue cerca de 500. Entre ellos figuraba un joven doctor en Ciencias, entonces Ayudante del Museo de Ciencias Naturales, Ignacio Bolívar, vinculado a la Junta para Ampliación de Estudios desde su creación y de la que llegó a ser Presidente.

Año 1882

«En 1882» –escribe M.B. Cossío en *La Enseñanza Primaria en España*– «la agitación de las ideas pedagógicas producida en el país por la propaganda de los principios, métodos y procedimientos de la Institución libre de enseñanza, discutidos calurosamente en el primer congreso nacional pedagógico de 1882, ejerció cierto influjo sobre el partido liberal que, en el poder entonces, creó el Patronato general de las escuelas de párvulos y el curso normal para preparar a las maes-

14

Núm.	NOMBRES.	Facultad.	Universidad.	Categoría.
234	~~D. Francisco Giner de los Ríos.~~	Derecho.	Madrid.	Entrada.
235	D. Juan Espinós y Rubio..	Derecho.	Valencia..	Entrada.
236	D. José Nieto y Alvarez.	Derecho.	Zaragoza.	Entrada.
237	D. Antonio José Pou y Ordinas.	Derecho.	Zaragoza.	Entrada.
238	D. Manuel Anglasell y Serrano.	Derecho.	Barcelona.	Entrada.
239	D. Domingo Valls y Castillo.	Derecho.	Barcelona.	Entrada.
240	D. Salvador Parga y Torreiro.	Derecho.	Santiago..	~~Entrada.~~ Ascenso
241	D. Ramon Segovia y Solana.	Derecho.	Salamanca	Entrada.
242	D. Didio Gonzalez Ibarra.	Derecho.	Valladolid	Entrada.
243	D. José Lopez Romero.	Derecho.	Santiago..	Entrada.
244	D. Gabriel Lopez Pereda..	Medicina.	Valladolid	Entrada.
245	D. Basilio Sanz Bandot.	Medicina.	Granada..	Entrada.
246	D. Antonio Gomez Torres.	Medicina.	Granada..	Entrada.
247	D. Pascual Hontañon y Cabezas.	Medicina.	Sevilla.	Entrada.
248	D. Rafael Marenco y Gualter.	Medicina.	Sevilla.	Entrada.
249	D. Silvestre Cantalapiedra.	Medicina.	Valladolid	Entrada.
250	D. Manuel Perez Teran.	Medicina.	Valladolid	Entrada.
251	D. José María Vilches y Entrena.	Medicina.	Sevilla.	Entrada.
252	D. Federico Godoy y Mercader..	Medicina.	Sevilla.	Entrada.
253	D. Juan Bautista Chape.	Medicina.	Sevilla.	Entrada.
254	D. Lorenzo Vidal y Auté..	Medicina.	Barcelona.	Entrada.
255	D. José Armenter y Ferrer.	Medicina.	Barcelona.	Entrada.

15

Núm.	NOMBRES.	Facultad.	Universidad.	Categoría.
256	D. Juan Giné Partagas.	Medicina.	Barcelona.	Entrada.
257	D. José Romagosa de la Fuente..	Medicina.	Valencia..	Entrada.
258	D. Ramon Ramiro Rueda y Neira.	Derecho.	Santiago..	Entrada.
259	D. Francisco Codera y Zaidin.	Filosofía y Letras.	Madrid.	Entrada.
260	D. José Hinojosa y Menjoulet.	Derecho.	Granada..	Entrada
261	D. Santiago Gonzalez Encinas.	Medicina.	Madrid.	~~Entrada.~~ Ascenso
262	~~D. Nicolás Salmeron y Alonso.~~	Filosofía y Letras.	Madrid.	Ascenso.
263	D. Eduardo Orodea é Ibarra.	Derecho.	Valladolid	Entrada.
264	D. José Manuel Piernas y Hurtado.	Derecho.	Oviedo.	Entrada.
265	D. Angel Botana y Barbeito.	Medicina.	Santiago..	Entrada.
266	D. Domingo Alcalde y Prieto.	Derecho.	Zaragoza.	Entrada.
267	D. Saturnino Fernandez de Velasco.	Filosofía y Letras.	Sevilla.	Entrada.
268	D. Juan Pablo Perez de Lara.	Derecho.	~~Oviedo~~ Salamanca	Entrada.
269	D. Gumersindo Vicuña y Lezcano.	Ciencias.	Madrid.	Entrada.
270	D. Antonio Orio y Gomez.	Ciencias.	Madrid.	Entrada.
271	D. ~~Timoteo~~ Sanchez Freire.	Medicina.	Santiago..	Entrada.
272	D. ~~Rafael~~ Conde y Luque.	Derecho.	Granada..	Entrada.
273	D. José Villó y Ruiz.	Filosofía y Letras.	Valencia..	Entrada.
274	D. Cayetano Vidal y Valenciano.	Filosofía y Letras.	Barcelona.	Entrada.
275	D. Juan Jusen y Castanera.	Derecho.	Valencia..	Entrada.
276	D. José Soler y Sanchez.	Ciencias.	Madrid.	Entrada.
277	D. Juan Teixidor y Cos.	Farmacia.	Barcelona.	Entrada.

Figura 2. Escalafón de Catedráticos de las universidades del Reino donde constan las separaciones de Giner y Salmerón como consecuencia de los Decretos de Orovio.

tras de dichas escuelas. Creó también el Museo Pedagógico y reorganizó por completo la Escuela Normal Central de maestras».

El Museo Pedagógico de Madrid, del que estuvo al frente M.B. Cossío desde 1882 hasta su jubilación en 1929, es el primer organismo autónomo asociado con el institucionismo sufragado con los dineros del Estado. Tuvo entre sus funciones básicas estudiar los problemas modernos de la pedagogía, dar a conocer en España el movimiento pedagógico del extranjero y ayudar a la formación de maestros, inspectores y profesores de Escuelas Normales. Además de servir como centro de ensayo para programas y material escolares y de centro documental de libros y revistas para profesores y alumnos.

A esta necesidad, tan ineludible como dificultosa, de formar al profesorado responderá prioritariamente la JAE en su programa de pensiones dentro y fuera de España, así como en el establecimiento de colonias escolares nacionales e internacionales. Por otra parte, el Museo Pedagógico compartió con la JAE la publicación y difusión de las experiencias vividas por los profesores españoles en el extranjero.

Año 1892

Se celebra en Madrid el Primer Congreso pedagógico hispanoportugués-americano, con motivo del cuarto centenario del descubrimiento de América. En la sección de Enseñanza Superior presenta una ponencia el joven Rafael Altamira titulada «Pensiones y Asociaciones escolares», que en 1893 publica el Museo Pedagógico de Madrid, del que Altamira era Secretario y profesor por oposición. También enseñaba en la JAE, habiendo sido alumno de Giner y Azcárate en los cursos de Doctorado en Derecho. Más tarde Altamira sería vocal de la JAE, primer Director General de Enseñanza Primaria y primer juez español en el Tribunal Permanente de Justicia Internacional de La Haya.

En aquella ponencia presenta su programa regeneracionista del que destacan: la necesidad que se atiendan los estudios históricos nacionales; de que el período idóneo para la formación científica se localice en el Doctorado; que se descentralice la Universidad, creando cátedras en provincias; y sobre todo, que se creen «pensiones para ampliación de estudios» análogas a las concedidas por otros países. Incluso sugiere que las pensiones concedidas sean en menor número para Medicina y Derecho que para las carreras de Ciencias y Letras «pues ambas Facultades necesitan (en especial la primera, tan rica y varia de servicios y de tan grande importancia hoy día) mayor reclutamiento del que alcanza, por ofrecer de suyo muy escaso porvenir a los jóvenes». Palabras alentadoras para ambas Facultades que desde su creación en 1857 por la Ley Moyano y desde entonces víctimas del partidismo ideológico, especialmente de carácter religioso, no habían conseguido todavía un sitio digno y seguro en el panorama universitario.

Las propuestas sobre pensiones en el extranjero no tardaron en encontrar ecos tan distinguidos como el de Joaquín Costa quien en carta a Altamira le dice: «Sería una *revelación* animadora para todos, y la materialización del *punto de partida* para la nueva era intelectual de España: los alumnos españoles en el extranjero sabrían que su misión era: desde ahí para arriba». Más adelante hablaremos del viaje oficial que Altamira realizó por América entre 1909 y 1910 y su repercusión sobre la JAE.



Figura 3. Rafael Altamira, vocal de la JAE, primer Director General de Enseñanza Primaria y promotor de las relaciones internacionales de la Junta.

Año 1898

Finalmente y como factor desencadenante del problema latente sobre el ser o no ser nacional, el desastre colonial, la liquidación definitiva del Imperio español. Una vez más se dispara la alerta roja de la conciencia pública y asociada con la crisis gubernamental se renueva la antigua polémica sobre la ciencia española como un síntoma de liquidación secular que repite la producida a finales del siglo XVIII.

Se alzan voces clamando por la creación de un ambiente donde se produzcan trabajos científicos «con un poquito de originalidad», en palabras de José Rodríguez Carracido, quien en 1909 analizaba así aquellos años: «El problema de la educación científica en España se ha planteado como necesidad apremiante inmediatamente después de la pérdida de los últimos restos de nuestro poderío colonial. Replegada en sus lares solariegos el alma nacional hizo examen de conciencia y vio con toda claridad que había ido a la lucha, y en ella había sido vencida por su ignorancia de aquellos conocimientos que infunden vigor mental positivo en los organismos sociales. Refiriéndose a los títulos de las asignaturas de la segunda enseñanza, alguien dijo donosamente que nuestra derrota era inevitable, por ser los Estados Unidos el pueblo de la Física y la Química, y España el de la Retórica y Poética».

Carracido fue vocal de la JAE desde su creación y miembro fundador de la Sociedad Española de Física y Química en cuyos *Anales* se publicaron múltiples memorias científicas de los pensionados.

A raíz del 98 se intensifica el fenómeno asociacionista e institucional con fines educativos y científicos, situándonos en lo que algunos historiadores han calificado como la «Edad de Plata» de la cultura española. Hay que destacar que desde 1900 se contó con un Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes independiente de los demás Ministerios y en igualdad de condiciones con ellos. Uno de sus primeros ministros, el conde de Romanones, reconocía públicamente en 1901 que «nuestra accidental inferioridad en todo lo que se refiere a la enseñanza depende principalmente del aislamiento en que vivimos, de nuestra poca o ninguna comunicación con el extranjero». Pocos años depués el mismo conde de Romanones intervenía, junto a Amalio Gimeno, Giner y Castillejo, en las reuniones y contactos de los que surgió la JAE.

A pesar de problemas como el de la poca estabilidad en el cargo de los titulares de la cartera de Instrucción Pública, no cabe duda que la suerte estaba echada y el terreno propicio para la aparición de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas.

Creación e incidencias: fines, personas y medios

El año 1907 fue especialmente provechoso en disposiciones relativas a la formación del profesorado. El día 10 de enero se creó la *Junta para el fomento de la educación nacional,* que por R.D. de 18 de noviembre se convirtió en *Junta Central de Primera Enseñanza.* Un R.D. de 11 de enero creó el *Grado normal* para Inspectores de Primera Enseñanza y profesores de Escuela Normal; este grado elevaba la titulación requerida para desempeñar aquellas funciones, que hasta entonces era el de Licenciado. De esta idea surgió en 1909 la Escuela Superior de Magisterio.

Otro R.D del mismo día 11 creaba la *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas,* refrendado por el político liberal Amalio Gimeno, ministro de Instrucción Pública del Gabinete Aguilar. Pocos días después, el 25 de enero, pasaba el Gabinete a manos del conservador Maura haciéndose cargo de la cartera de Instrucción Pública Rodríguez San Pedro que, en los casi tres años de mandato, hizo notar su presencia alicortando los vuelos con que, en su opinión, fue creada la JAE.

La Exposición del Decreto fundacional es un fiel reflejo de las circunstancias apuntadas más arriba. Empieza así: «El más importante grupo de mejoras que pueden llevarse a la instrucción pública es aquel que tiende por todos los medios posibles a formar el personal docente futuro y dar al actual medios y facilidades para seguir de cerca el movimiento científico y pedagógico de las naciones más cultas, tomando parte en él con positivo aprovechamiento».

En la enumeración de ejemplos sobre pensiones e intercambios científicos se pone de manifiesto que la vista estaba puesta especialmente en Alemania. Esta tendencia fue asumida públicamente por los gobiernos derivados de la revolución septembrina (1868) y los de la Primera República. Los planes de estudio que el ministro Chao propuso para la Segunda Enseñanza y para las Facultades de Filosofía y Letras y de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales que, por lo efímero de la experiencia republicana, no llegaron a implantarse, lo demuestran.

Continúa la Exposición matizando el carácter que debían tener las pensiones. Por la importancia concedida a las mismas la JAE fue más conocida como «Junta de Pensiones». No obstante, en el mismo Decreto se sugiere qué hacer con los pensionados a su vuelta a España, que era donde realmente habría de producirse el beneficio de tan

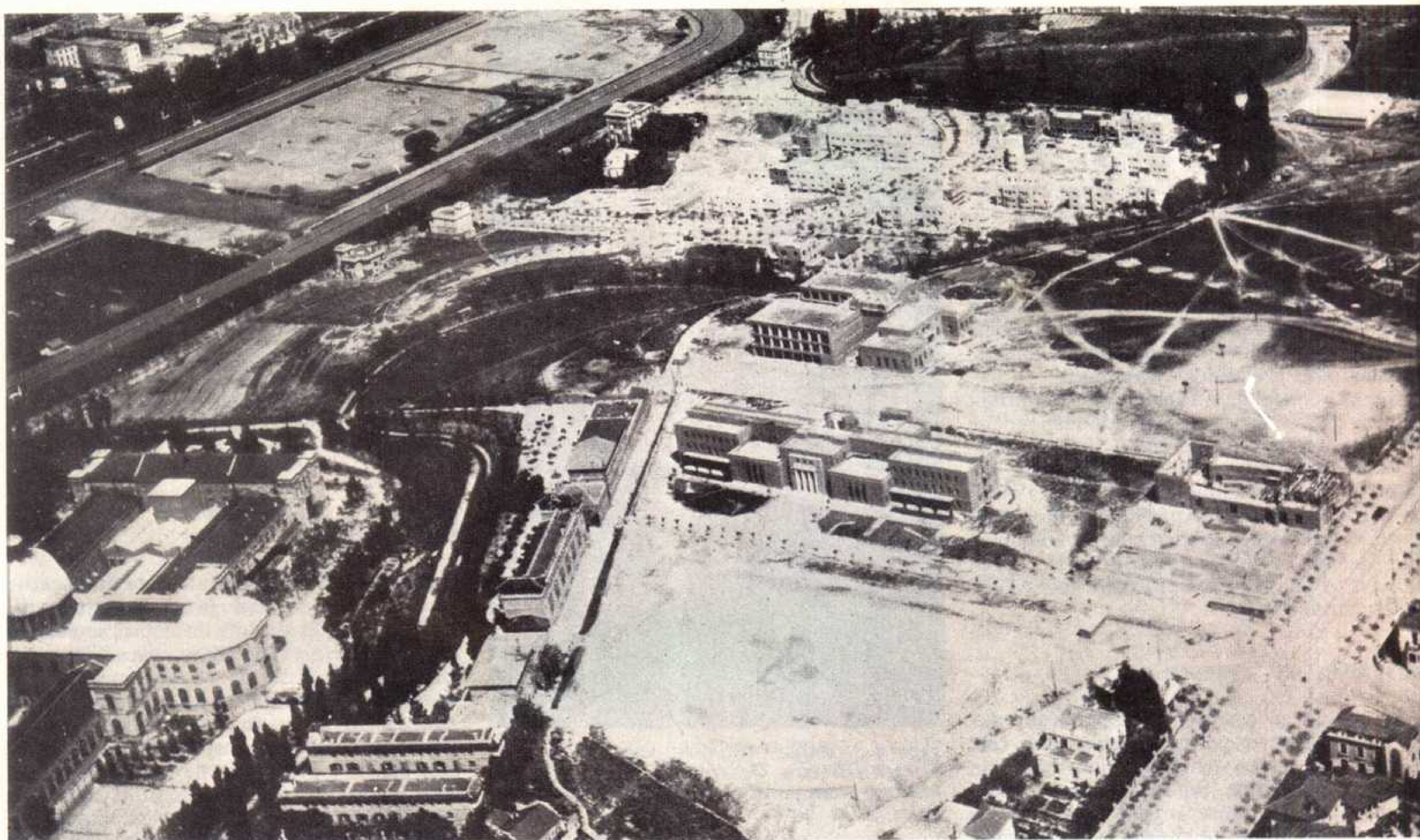


Figura 4. Fotografía aérea del Hipódromo (ángulo superior izquierdo). Museo de Ciencias Naturales y Escuela de Ingenieros Industriales (ángulo inferior izquierdo), calle Serrano (ángulo inferior derecho) y Colonia Residencia (parte superior central de la fotografía) que limitan los terrenos en que se levantan la Residencia de Estudiantes (a la izquierda), el Instituto Nacional de Física y Química (al centro) y el Instituto-Escuela (entre la Colonia Residencia y el Instituto de Física y Química). Lindando con la calle Serrano puede verse el edificio en construcción para Sala de Conferencias y Biblioteca de la Residencia. El gran espacio libre comprendido entre el Instituto de Física y Química y la Residencia está dedicado a campo de deportes de ésta, excepto la parte en que será construido el nuevo pabellón de dormitorios, orientado paralelamente al Instituto de Física y Química.

considerable inversión. Se dispone que la JAE tenga a su cargo:

«1.º El servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España.

2.º Las Delegaciones en Congresos científicos.

3.º El servicio de información extranjera y relaciones internacionales en materia de enseñanza.

4.º El fomento de los trabajos de investigación científica; y

5.º La protección de las instituciones educativas en la enseñanza secundaria y superior.»

Asimismo, se le da a la JAE la facultad de crear «pequeños centros de actividad investigadora y de trabajo intenso», similares a los célebres seminarios alemanes; residencias y asociaciones de estudiantes; una *Caja de investigaciones científicas* para difundir los trabajos de los pensionados que tienen la obligación de redactar una Memoria de su experiencia, y expedir *certificados de suficiencia* que daban derecho, inicialmente, a ocupar plazas de Auxiliares numerarios en Universidades, Institutos y Escuelas especiales dependientes del Ministerio de Instrucción Pública. A estos certificados también tenían opción quienes sin haber sido pensionados de la JAE hubieran realizado estudios en el extranjero y desearan acreditarlo.

«Para realizar» –se dice en la Exposición– «toda la labor que queda ligeramente apuntada en los párrafos anteriores se necesita una cantidad considerable de recursos, el apoyo de la opinión pública, la cooperación eficaz de las fuerzas vivas del país y una acción directa, uniforme e inteligente». E insiste nuevamente en la necesidad de que el organismo creado ha de ser neutral, de manera que «colocado fuera de la agitación de las pasiones políticas, conserve a través de todas las mudanzas su independencia y prestigio».

Y este fue el contencioso que hubo de librar la JAE durante sus 31 años de vida: la dificultad de encontrar el equilibrio entre el Estado que subvenciona y el centro subvencionado que reclama para sí el máximo de autonomía en la administración de los presupuestos asignados, así como en el nombramiento del personal directivo y selección de pensionados.

El Reglamento publicado en la Gaceta (22/6/1907) siendo ya ministro Rodríguez San Pedro, establece que al Ministerio corresponden «aquellos deberes de alta inspección que, sin dañar en lo más mínimo las iniciativas provechosas que de la Junta pueden y deben esperarse, consientan, sin embargo, en la medida justa y necesaria, la intervención del Ministerio en la administración de los recursos del presupuesto y en la sanción de los acuerdos que tengan relación con su empleo». E introduce novedades respecto al Decreto fundacional: que al producirse una vacante de vocal en la Junta, ésta proponga para su provisión tres nombres al ministro; que en las propuestas de pensionados elevadas al Ministerio haya «triple número de nombres que de pensiones» para decidir desde allí; que el ministro pueda nombrar sus propios delegados para inspeccionar cualquier servicio de la JAE dentro y fuera de España; que las remuneraciones del secretario y personal adjunto se determinaran desde el Ministerio; y elimina de los *certificados de suficiencia* la posibilidad que daban de acceder a las Ayudantías de centros docentes.

Todo esto sin que los 21 vocales nombrados por Amalio Gimeno pudieran infundir sospechas. Eran los siguientes: Santiago Ramón y Cajal, José Echegaray, Marcelino Menéndez Pelayo, Joaquín Sorolla, Joaquín Costa, Vicente Santamaría de Paredes, Alejandro San Marín, Julián Calleja, Eduardo Vicenti, Gumersindo de Azcárate, Luis Simarro, Ignacio Bolívar, Ramón Menéndez Pidal, José Casares Gil, Adolfo Álvarez Buylla, José Rodríguez Carracido, Julián Ribera Tarragó, Leonardo de Torres Quevedo, José Marvá, José Fernández Jiménez y Victoriano Fernández Ascarza. Y como Secretario José Castillejo y Duarte que no aparece nominalmente en el Decreto pero era «el Profesor a quien hoy está encomendado en el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes el servicio de información técnica y de relaciones con el extrajero». Como se ve y según se ha dicho en respuesta a algunos ataques contra la JAE «no estaba ni D. Francisco». Apuntemos que la presencia del institucionismo era obvia pero bien equilibrada.

Nuevamente los liberales en el poder (1910) bajo la Presidencia de Segismundo Moret y en Instrucción Pública Antonio Barroso, se vuelve al Decreto fundacional y queda derogado el reglamento de junio. Hasta que bajo el Directorio de Primo de Rivera y en el Ministerio Eduardo Callejo se establecen normas muy concretas para el nombramiento de vocales y administración de fondos. Durante este período la JAE estuvo

formada por : Ramón y Cajal, Bolívar, Menéndez Pidal, duque de Alba, Casares Gil, Fernández Ascarza, Carracido, Torres Quevedo, vizconde de Eza, conde de Gimeno, Luis Olariaga Pujana, Antonio Simonena Zabalegui, Julio Palacios Martínez, José María Freire, José Ortega y Gasset, José María Torroja Miret, Luis Bermejo Vida, Juan de la Cierva Codorniú, Fernando Álvarez de Sotomayor, Inocencio Giménez Vicente y Manuel Fernández Fernández. Salvo algunos cambios por fallecimiento o desempeño de otros destinos.

Desposeído del mando Primo de Rivera en 1930 y durante el Gobierno Berenguer, los ministros de Instrucción Pública, duque de Alba y Tormo, vuelven a la situación de enero de 1910 y queda la Junta constituida de la siguiente manera:
Presidente: Santiago Ramón y Cajal
Vicepresidente primero: Ignacio Bolívar Urrutia
Vicepresidente segundo: Ramón Menéndez Pidal
Vocales de la comisión ejecutiva: José Casares Gil y Gabriel Maura Gamazo
Vocales: Leonardo Torres Quevedo, Victoriano Fernández Ascarza, Manuel Márquez Rodríguez, Joaquín Sánchez de Toca, José Marvá Mayer, conde de Gimeno, vizconde de Eza, duque de Alba, Fernando Álvarez de Sotomayor, Juan de la Cierva Codorniú, José María Castellarnau Lleopart, Antonio García Tapia, Teófilo Hernando Ortega, Inocencio Jiménez Vicente, José María Torroja Miret y Juan Zaragüeta Bengoechea.
Secretario: José Castillejo y Duarte
Vicesecretario: Francisco López Acebal

En cualquiera de las diversas etapas la cualificación de los miembros de la Junta fue diversa: se buscaban representantes prestigiosos en Ciencias, Letras, Derecho, Medicina, Técnica y Bellas Artes. Hay miembros de la nobleza también (el conde de Gimeno es el ministro de Instrucción Pública firmante del Decreto fundacional), pero se echa en falta la presencia directa de la Iglesia, sobre todo en momentos históricos exultantes de patriotismo y confesionalidad como fue el Directorio de Primo de Rivera. Sin embargo, en esta ocasión el Consejo de Instrucción Pública, por donde pasaban los asuntos de la JAE en el Ministerio, contaba con la presencia del obispo de Madrid-Alcalá y de un sacerdote (el padre Restrepo primero y luego el padre Martínez) como representante de la enseñanza no oficial. En esa misma época, hacían doblete con el Consejo de Instrucción Pública algunos miembros de la JAE o muy afines; son los casos de Tormo, Cossío, Zaragüeta, Bolívar, Cabrera y otros.



Figura 5. José Castillejo, Secretario de la JAE desde su fundación en 1907 hasta 1932.

A partir de Abril de 1931 con el segundo, y también fallido, intento republicano se suceden las altas y bajas en la JAE. Una razón es que aumentan las instituciones dedicadas al fomento de la investigación científica y la renovación pedagógica, de las que hablaremos más adelante. La desaparición más significativa es la de José Castillejo, secretario de la Junta desde su fundación y a quien se le atribuye justificadamente el éxito de la misma. Da prueba de su habilidad, firmeza y conocimiento del carácter español lo sucedido en 1910 a propósito de la creación de la Residencia de Estudiantes en Madrid. Romanones, defensor de esta propuesta de la JAE como ministro de Instrucción Pública, durante un debate en el Congreso le dice: «creo que la oposición es demasiado fuerte, Castillejo, tendrás que abandonar el proyecto». A lo que éste contestó: «No puedo, señor ministro, la Residencia lleva ya funcionando tres meses». No está escrito, pero a Romanones debió palidecerle hasta el bigote.

En septiembre de 1932 Castillejo fue nombrado Director Administrativo de la *Fundación nacional para investigaciones científicas y Ensayos de reformas,* creada en julio de 1931. Le sustituyó en la secretaría de la JAE Ramón Prieta Bances.

Durante la Segunda República la autonomía de la JAE llegó a sus cotas más altas. Por decreto de 13/6/1932, Fernando de los Ríos, ministro de Instrucción Pública, no sólo vuelve al Reglamento de enero de 1910, sino que faculta a la Junta para que proponga «la cooperación del personal dependiente del Ministerio en la forma y lugares donde la investigación científica obtenga el máximo rendimiento de vocaciones especializadas». Entre los catedráticos liberados de labor docente, siendo ministro Prieto Bances, se encuentran Menéndez Pidal, Asín Palacios, Fernández de Castro y José María Pabón.

En cuanto al presupuesto de la Junta hay que decir que fue cuantioso, como requería una obra de aquella magnitud. Lo que levantó no poca polvareda procedente de sectores diversos. Por una parte, la Universidad se consideró amenazada ante la prepotencia de los organismos de la JAE en el fomento de la investigación. Los temores de un sector universitario ni eran infundados ni eran exclusivos de nuestro país para casos similares. Así había sucedido en Francia, cuando a partir de la revolución de 1848 pretendieron potenciar la investigación fuera de la universidad –tomada como modelo por los reformadores españoles del siglo XIX– por considerarla desfasada, sobre todo respecto a las universidades alemanas que además de impartir las enseñanzas respectivas, sostenían Laboratorios y Seminarios donde los jóvenes emprendían trabajos de investigación dirigidos por prestigiosos profesores. Algo similar pretendió y consiguió ser la JAE, lo que a pesar de los recelos benefició a la propia Universidad.

Las antipatías llegaron al extremo de convocar en 1918 un claustro extraordinario en

la Universidad de Madrid para decidir «si era lícito que un catedrático participase en las actividades de la Junta». Al alegato de los disconformes contestó Ramón y Cajal: «Yo creo, señores, que no estamos haciendo nada malo en esa Junta; hacemos investigaciones científicas y nada más. No me parece que merezcamos ser expulsados de la Universidad por realizar fuera de ella tal clase de actividades».

Otro motivo de censura fue la acusación de parcialidad en la concesión de pensiones. Se corría la voz de que la Junta era, como ya dijimos, sectaria y que excluía de los beneficios procedentes del erario público a quienes eran de «derechas». Sobre este asunto, no suficientemente clarificado, habrá de investigarse a partir del conocimiento individual de pensionados y rechazados en las relaciones de solicitudes.

Finalmente, en cuanto a quejas, hay que mencionar –esta vez con extrañeza– la actitud de Rafael M.ª de Labra en el Senado, con motivo de la discusión del presupuesto de Instrucción Pública para 1911. En el debate dedicado a «Educación Popular», Labra se manifestó contrario a los dineros asignados a la Junta y protestó por los «vuelos que está tomando». Acaso la justificación de tal actitud, en un reconocido institucionista, pero por encima de todo ateneísta, radique en los intentos frustados del Ateneo por implantar una Universidad Popular para centros obreros. Labra representaba en la Cámara Alta a las Sociedades Económicas de Amigos del País que desde su fundación en el siglo XVIII emprendieron programas de extensión cultural.

Al margen de tan protestados presupuestos, la Junta contó con donativos de diversas procedencias. Con frecuencia procedían de españoles afincados en Sudamérica. Incluso hubo suscripciones populares como la promovida en 1923 para consolidar el «Instituto Cajal», creado en 1920. En este caso se recaudó en Sudamérica más de un millón de pesetas, frente a las no más de 50.000 pesetas recogidas en España.

En ese mismo año, 1923, John D. Rockefeller fundaba en Nueva York el «International Educational Board» del que en 1926 la JAE recibió el donativo más generoso de su historia: 420.000 dólares para construir y equipar un edificio en Madrid destinado a los estudios de Física y Química. Y así se hizo. Otros recursos de que dispuso la Junta fueron procedentes de bienes adquiridos, heredados o legados; el importe de sus numerosas publicaciones; los ingresos reportados por las enseñanzas impartidas en sus centros; los ingresos procedentes de la Residencia de Estudiantes; las cuotas anuales de quienes se matriculaban en la Sociedad de Cursos y Conferencias; además de subvenciones del Estado recibidas para realizaciones concretas.



Figura 6. De izquierda a derecha Julio Guzmán, Enrique Moles, Juan Negrín y Julián Besteiro, pensionados por la JAE en Leipzig (1911).

Realizaciones

A pesar de la azarosa vida de la JAE, propia de una fundación con ambiciones, destinada a «remover obstáculos», como dicen en alguna ocasión rememorando a ilustrados y liberales, sus actividades fueron intensas y abarcaron los campos más diversos. Aunque haya de ser someramente pasemos revista a cada una de ellas.

Las pensiones y otras relaciones con el extranjero

Los primeros intentos oficiales de enviar sistemáticamente pensionados al extranjero pueden remontarse al Edicto de 4/7/1718 dictado por Felipe V. A lo largo del siglo XVIII, especialmente durante el reinado de Carlos III, se intentó la renovación científica de las instituciones docentes fomentando el intercambio internacional. Y durante el XIX hubo instituciones que lo pretendieron, tales como la Comisión de Historia Natural de Marruecos, el Instituto Geográfico y Estadístico, el Instituto agrícola de Alfonso XII y el Museo Pedagógico, entre otros, aparte de las pensiones y becas relativas a Bellas Artes que fueron las concedidas con más regularidad.

No obstante, hablar en España de Pensiones es referirse a la JAE. En este campo y a pesar de las disconformidades, la Junta desempeñó con gran acierto el encargo encomendado. Las pensiones se concedieron individualmente y en grupo para trabajos dentro del país y para el extranjero.

Hubo una auténtica avalancha de aspirantes y difícil será dar un nombre conocido de la enseñanza o de la cultura, en cualquier ámbito, que no haya sido pensionado. Incluyendo a quienes más ácidamente arremetieron después contra la Junta; hay que destacar, por su intolerancia y desprecio, el caso de Joaquín de Entrambasaguas, dos veces pensionado, que no deja títere con cabeza en su publicación *Pérdida de la Universidad española*, editada en Bilbao (julio de 1938) por la Delegación de Prensa y Propaganda de FET y de las JONS.

Un peligro que acechó a la Junta por parte de los pensionados fue el deseo de continuar disfrutando la pensión. Pongámonos en aquella situación: gente joven, asombrados por el espíritu europeo en todos los órdenes, aspirantes a ser alguien en nuestro país, conocedores de idiomas y bien acogidos por las instituciones extranjeras. Estaba claro que la mayoría habría de querer más, ¿quién no? Pero ahí estaba Castillejo, manchego hábil, con su aire agrícola y profesoral, mediador entre la realidad y el deseo aconsejando y decidiendo, al fin, que el tiempo se había cumplido. En más de una ocasión recibiría muestras tan fogosas, sinceras y preocupantes, como esta de Ortega, pensionado entonces (1911) en Heidelberg: «Excuso decirle lo que me descompone haber de retornar ahora a Madrid cuando tenía salvadas ya todas las dificultades que este año borrascoso me había traído... Midiendo ahora el tremendo trabajo que me cuesta arrancar de aquí –no puede usted imaginarse cuánto es–, me hago cargo de uno de los inconvenientes que para gentes de mi contextura tiene esto de las pensiones. Después de tres años largos en Alemania yo me siento casi alemán, más alemán que español y, por lo menos, internacional. Lo siento ya como una necesidad primaria de respirar algunos meses del año de la vida espiritual densa de esta parte de los Pirineos».

En general, las pensiones individuales no duraban más de un curso. Se solían prorrogar o volver a conceder al cabo de algún tiempo. En lo que a las pensiones en grupo se refiere, comenzaron a concederse en 1911. A partir de 1927 –coincidiendo con una R.O. de 26 de marzo, que establecía la necesidad de la aprobación ministerial para los viajes colectivos organizados por instituciones dependientes del Estado– no se volvieron a conceder más pensiones de este tipo. La duración de este tipo de pensiones era menor, solían concederse para visitar centros docentes durante los meses de verano.

Respecto a la cuantía, no hubo muchas variaciones durante los 31 años que sobrevivió la Junta. Osciló entre 350 y 650 pesetas mensuales; para Europa solía ser de 350 pts. hasta 1918 y de 425 a 450 hasta 1931, fecha

en la que se elevó la cuantía a 600 pts. en algunas ocasiones, manteniéndose la de 425 para otras. Para los viajes a Europa había mayor variación, dependiendo de la distancia de los países a visitar; se pagaban normalmente de 400 a 600 pts., comprendida la ida y la vuelta. Respecto a EEUU, se solían pagar 650 pts. de pensión y 1.750 para viajes. Hay que tener en cuenta, además, que las cantidades que la Junta pagaba se hallaban gravadas por un impuesto del 12 % (estos datos están extraídos inductivamente de los archivos de la JAE, pues no constan de manera oficial).

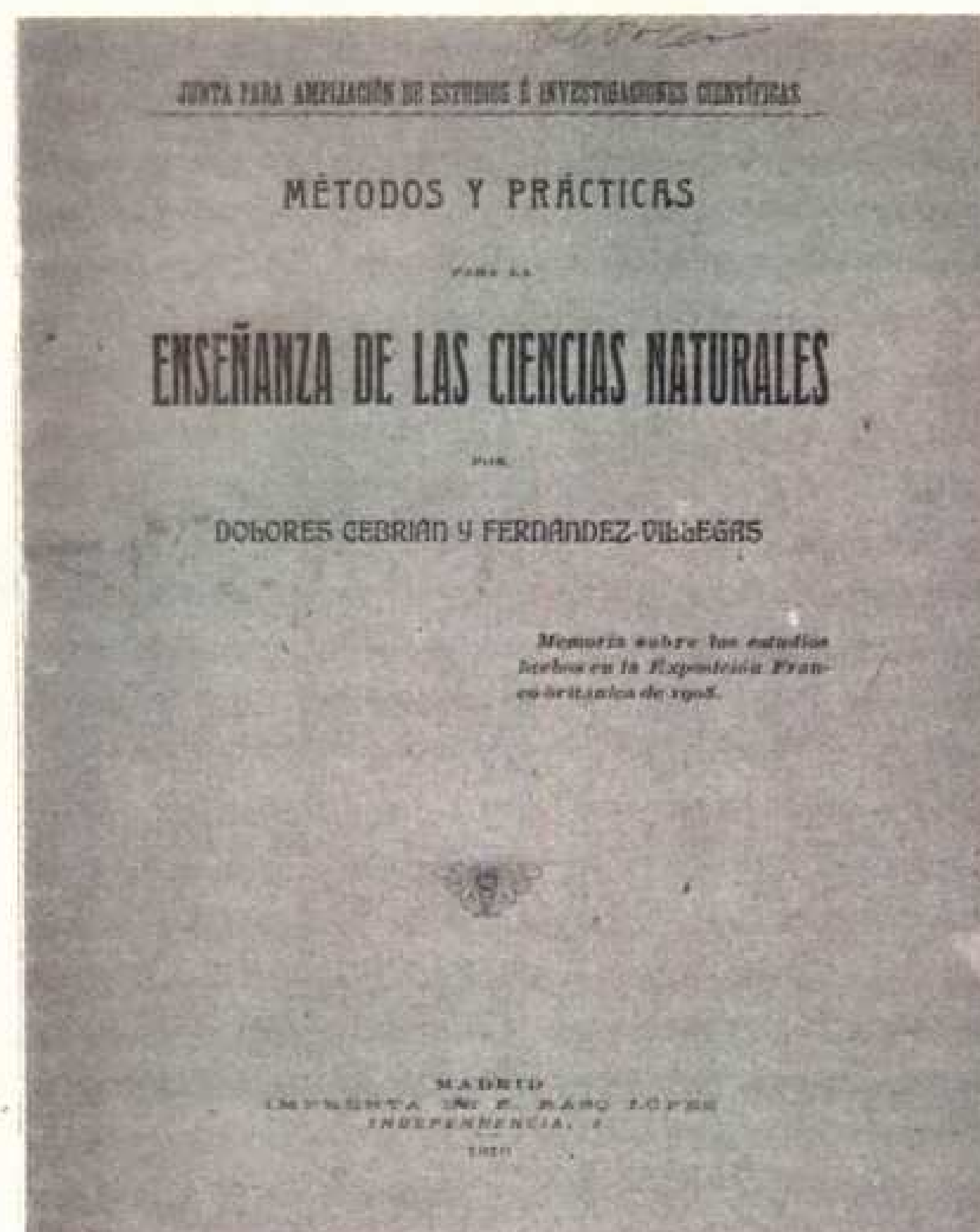
Estas cantidades no daban para mucho más que para una modesta estancia y mantenimiento, como prueban las cartas –especialmente durante los años de la República y al final de la primera guerra mundial– de algunos pensionados exponiendo las estrecheces que pasaban.

Las convocatorias solían hacerse públicas en febrero o marzo, mediante anuncio en la Gaceta de Madrid donde se especificaban quiénes podían solicitarlas, las condiciones en caso de concesión y otras advertencias generales. Estas convocatorias cambiaron poco, con la salvedad de que entre 1922 y 1926 fueron excluidos explícitamente como aspirantes a pensionados quienes desempeñaran labor docente universitaria, porque en los Presupuestos del Estado se concedieron a las universidades consignaciones para enviar pensionados al extranjero.

Con anterioridad a la convocatoria de pensiones, en los primeros meses de cada año académico, se hacían públicos los trabajos a realizar en los distintos centros de la JAE. En esos cursos se aspiraba a iniciar en alguna especialidad científica a los universitarios que hubieran terminado sus estudios en Facultades o Escuelas Superiores y también a preparar a quienes pretendían ser pensionados en el extranjero. Las inscripciones eran gratuitas y los aspirantes eran seleccionados atendiendo a su preparación y al conocimiento de idiomas extranjeros.

En cuanto a otras relaciones con el extranjero, hay que destacar las mantenidas con Hispanoamérica, a raíz del viaje de Altamira entre 1909 y 1910. A partir de entonces, la JAE procuró erigirse en «guía y portavoz de toda nuestra raza en el Nuevo Mundo». Importante en este sentido fue la «Institución Cultural Española» de Buenos Aires, promovida en 1913 a iniciativa de la colonia española. El título I de los Estatutos de la Institución era explícito en cuanto a los fines que la animaban: «La Institución tendrá por objeto dar a conocer y difundir en la República Argentina las investigaciones y estudios científicos y literarios que se realicen en España». El principal medio puesto en marcha por la Institución para alcanzar este fin fue la dotación y sostenimiento de una cátedra que debía ser detentada por intelectuales españoles. Estatutariamente la facultad de proponer ternas de candidatos para ocupar dicha cátedra recaía en la JAE (no hay que olvidar que, como expresó el Dr. Avelino Gutiérrez, presidente de la Institución, en carta a Cajal de abril de 1915, era deseo de la Junta Directiva poner a la Institución «bajo el patrocinio científico y moral de la JAE»). Así, por Argentina pasaron, entre otros: Ortega y Gasset (1916), Rey Pastor (1917), Pi y Suñer (1919), Cabrera (1920), Casares Gil (1924), el P. Eduardo Vitoria (1924), del Río Hortega (1925) y Terradas (1927).

Otra de las iniciativas de la Institución Cultural Española que ésta encomendó a la Junta, en lo que a dirección científica, administración de fondos y elección de profesores y de becarios se refiere, fue la Cátedra Cajal, que nació en 1922 como un homenaje de la Institución al sabio aragonés con motivo de su jubilación.


JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS É INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

MÉTODOS Y PRÁCTICAS

PARA LA

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES

POR

DOLORES CEBRIÁN Y FERNÁNDEZ-VILLEGAS

Memoria sobre los estudios hechos en la Exposición Franco-británica de 1908.

MADRID

Figura 7. Memoria de Dolores Cebrián, profesora de Escuela Normal, esposa de Julián Besteiro y pensionada en varias ocasiones por la JAE.

Señalemos por último, y desde una perspectiva más amplia, que la canalización de actividades en el extranjero, no sólo con Hispanoamérica, se hizo a través de una «Junta de Relaciones Culturales», creada en el Ministerio de Estado con un presupuesto propio y una Comisión organizadora. El Gobierno provisional de la República, siendo ministro de Estado Lerroux, potenció esta Junta y nombró la siguiente Comisión: Menéndez Pidal, presidente; Cabrera y Marañón, vicepresidente; y vocales, Castillejo, Pittaluga, Zulueta, Sánchez Román, Jiménez Fraud, Lafora, del Río Hortega, Martínez Ruiz y Julio Casares. La cosa, como se ve quedaba en casa.

Instituciones para la investigación

Al considerar la Exposición del Decreto fundacional de la JAE vimos que, junto al servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España, se mencionaba explícitamente como uno de los fines que animaban a la JAE el de fomentar la investigación científica. En otras palabras, que se proponía intervenir de manera más completa en la política científica del país. Esto era, por una parte, una necesidad si se quería obtener el máximo partido a las pensiones concedidas. En este sentido en la Memoria de la Junta correspondiente a los años 1914 y 1915 se lee: «Se hace cada vez más importante la función de recoger a los pensionados que regresan del extranjero y ofrecerles medios de continuar en España sus trabajos. Y también la de evitar, mediante modestos auxilios, que vayan precipitadamente a ganar su sustento, en ocupaciones extrañas a su vocación, aquellos jóvenes que, por su cultura y sus dotes, pueden dar en otro lugar un mayor rendimiento al país». Asimismo, el que la situación científica del país fuera mejor podía repercutir en que los pensionados saliesen «al extranjero con una preparación plenamente adecuada».

No debe sorprender, por consiguiente, que la Junta interviniese en el apartado de la infraestructura necesaria para la investigación: en concreto, en la creación de «centros de estudios y laboratorios».

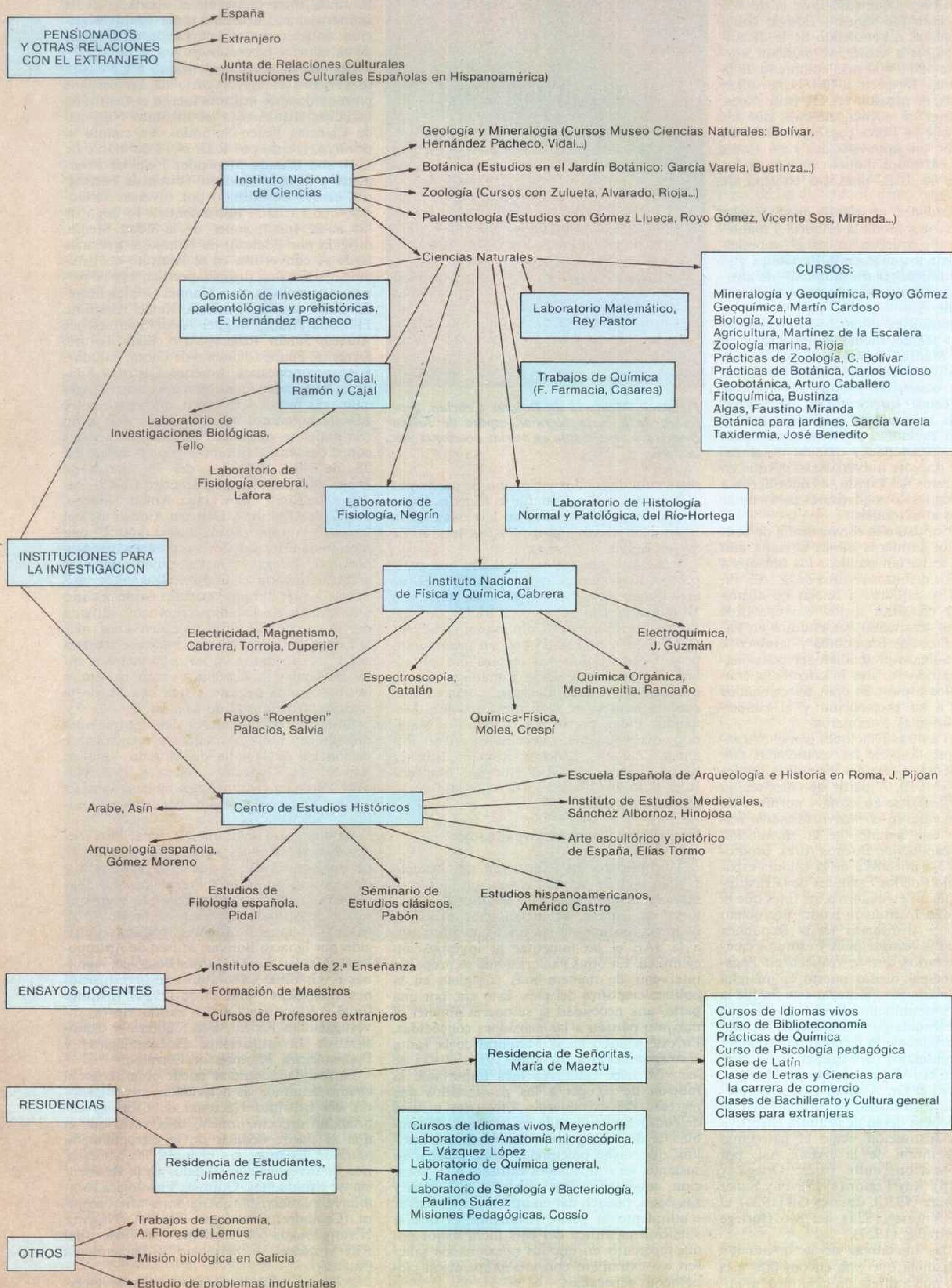
Las dos instituciones entorno a las cuales se vertebró la mayor parte de los trabajos promovidos por la Junta fueron el Centro de Estudios Históricos y el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales. En cuanto al primero, creado por R.D. el 18 de marzo de 1910 con Ramón Menéndez Pidal de Presidente y Tomás Navarro Tomás de Secretario, estuvo constituido por diversas secciones, que variaron ligeramente a lo largo de los años: Instituciones de la Edad Media, dirigida por Eduardo de Hinojosa, que más tarde se convertiría en el Instituto de Estudios Medievales, dirigido por Sánchez Albornoz; Arqueología, con Manuel Gómez Moreno como director; Historia, Rafael Altamira; Filosofía Árabe, Miguel Asín; Instituciones Árabes, Julián Ribera; Arte, Elías Tormo; Derecho, Felipe Clemente de Diego; Estudios Hispanoamericanos, Américo Castro, y Filología, Menéndez Pidal, probablemente la sección más fuerte del Centro, que contó entre sus colaboradores a los filólogos que junto con Pidal se escalonan en las generaciones conocidas en la cultura española como del 98, de 1914, del 27 y del 36, García de Diego, Navarro Tomás, Américo Castro, Federico de Onís, Gil y Gaya, Amado Alonso, Fernández Ramírez, Dámaso Alonso, Rafael Lapesa y Antonio Tovar. Hubo también una sección de Filosofía Contemporánea, dirigida por José Ortega y Gasset, quien como los arabistas dejaría el Centro. Señalemos, asimismo, que durante cierto tiempo existió una sección de Estudios Semíticos, dirigida por Abraham S. Yahuda, quien años más tarde, ya viviendo en el extranjero, actuaría como intermediario en las negociaciones entre Einstein y la República española para la posible venida de éste a una cátedra de la Universidad Central de Madrid.

Entre los colaboradores del Centro, además de los filólogos podemos mencionar a personajes de la talla de Moreno Villa en arqueología, González Llubera y José Sánchez Pérez en instituciones árabes, Sánchez Cantón en arte y María de Maeztu en filosofía.

En cuanto al Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales, creado por R.D. de 27 de mayo de 1910, y que tuvo a Ramón y Cajal como su primer Presidente y a Blas Cabrera como Secretario, hay que decir que estaba constituido por los siguientes centros: Museo Nacional de Ciencias Naturales, dirigido por Ignacio Bolívar; Museo de Antropología, Manuel Antón; Jardín Botánico, Apolinar F. Gredilla; Laboratorio de Investigaciones Biológicas –más tarde (1920) Instituto Cajal–, Ramón y Cajal; Laboratorio de Investigaciones Físicas, Blas Cabrera, y Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, Marqués de Cerralbo.

En realidad, como se puede observar en el cuadro adjunto, las actividades investigadoras del Instituto Nacional de Ciencias cubrían un espectro mucho más vasto que el que se puede deducir de la estructuración anterior. Existían, por ejemplo, los laboratorios de investigación situados en la Residencia de Estudiantes: Química Fisiológica (Madinaveitia, Sacristán); Anatomía Microscópica (Calandre); Fisiología General (Negrín); Histopatología del Sistema Nervioso (del Río Hortega), y Serología y Bacteriología (Suárez).

Lo dicho hasta el momento permite hacer-



JUNTA PARA AMPLIACION DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
PENSIONADOS Y OTRAS RELACIONES CON EL EXTRANJERO
España
Extranjero
Junta de Relaciones Culturales (Instituciones Culturales Españolas en Hispanoamérica)
INSTITUCIONES PARA LA INVESTIGACION
Instituto Nacional de Ciencias
Geología y Mineralogía (Cursos Museo Ciencias Naturales: Bolívar, Hernández Pacheco, Vidal...)
Botánica (Estudios en el Jardín Botánico: García Varela, Bustinza...)
Zoología (Cursos con Zulueta, Alvarado, Rioja...)
Paleontología (Estudios con Gómez Llueca, Royo Gómez, Vicente Sos, Miranda...)
Ciencias Naturales
CURSOS:
Mineralogía y Geoquímica, Royo Gómez
Geoquímica, Martín Cardoso
Biología, Zulueta
Agricultura, Martínez de la Escalera
Zoología marina, Rioja
Prácticas de Zoología, C. Bolívar
Prácticas de Botánica, Carlos Vicioso
Geobotánica, Arturo Caballero
Fitoquímica, Bustinza
Algas, Faustino Miranda
Botánica para jardines, García Varela
Taxidermia, José Benedito
Comisión de Investigaciones paleontológicas y prehistóricas, E. Hernández Pacheco
Laboratorio Matemático, Rey Pastor
Instituto Cajal, Ramón y Cajal
Trabajos de Química (F. Farmacia, Casares)
Laboratorio de Investigaciones Biológicas, Tello
Laboratorio de Fisiología cerebral, Lafora
Laboratorio de Fisiología, Negrín
Laboratorio de Histología Normal y Patológica, del Río-Hortega
Instituto Nacional de Física y Química, Cabrera
Electricidad, Magnetismo, Cabrera, Torroja, Duperier
Electroquímica, J. Guzmán
Espectroscopía, Catalán
Química Orgánica, Medinaveitia, Rancaño
Rayos "Roentgen" Palacios, Salvia
Química-Física, Moles, Crespí
Escuela Española de Arqueología e Historia en Roma, J. Pijoan
Arabe, Asín
Centro de Estudios Históricos
Instituto de Estudios Medievales, Sánchez Albornoz, Hinojosa
Arqueología española, Gómez Moreno
Arte escultórico y pictórico de España, Elías Tormo
Estudios de Filología española, Pidal
Séminario de Estudios clásicos, Pabón
Estudios hispanoamericanos, Américo Castro
ENSAYOS DOCENTES
Instituto Escuela de 2.ª Enseñanza
Formación de Maestros
Cursos de Profesores extranjeros
Residencia de Señoritas, María de Maeztu
Cursos de Idiomas vivos
Curso de Biblioteconomía
Prácticas de Química
Curso de Psicología pedagógica
Clase de Latín
Clase de Letras y Ciencias para la carrera de comercio
Clases de Bachillerato y Cultura general
Clases para extranjeras
RESIDENCIAS
Residencia de Estudiantes, Jiménez Fraud
Cursos de Idiomas vivos, Meyendorff
Laboratorio de Anatomía microscópica, E. Vázquez López
Laboratorio de Química general, J. Ranedo
Laboratorio de Serología y Bacteriología, Paulino Suárez
Misiones Pedagógicas, Cossío
OTROS
Trabajos de Economía, A. Flores de Lemus
Misión biológica en Galicia
Estudio de problemas industriales

se una idea tanto de la potencia investigadora existente en España durante la primera mitad del siglo XX en el área de la biomedicina, como de lo íntimamente asociada que ésta estaba con la JAE. Otro tanto se puede decir, aunque sin duda, y a pesar de lo que a veces se ha sugerido, en una escala mucho más modesta, de las investigaciones físicas. En el laboratorio de Investigaciones Físicas, creado y mantenido totalmente por la Junta en virtud de R.D. de 27-5-1910, y que en 1932 se transformó en el Instituto de Física y Química, construido en los llamados Altos del Hipódromo (justo al lado de la Residencia de Estudiantes) gracias, como ya indicamos, a una donación de la Rockefeller Foundation, se iba a desarrollar lo mejor –de hecho, casi toda– de la investigación española en áreas como Electricidad y Magnetismo, Rayos X, Espectroscopía, Química-Física, Química Orgánica y Electroquímica. Como índice de la importancia que para la Física y la Química españolas tuvieron estos dos laboratorios basta decir que si tomamos como punto de partida la entrada en funcionamiento del Laboratorio de Investigaciones Físicas, casi el 75 % de los artículos publicados hasta 1936 en los *Anales* de la Sociedad Española de Física y Química –el principal órgano de difusión de los resultados para los físicos y químicos nacionales– fueron debidos a los investigadores que desarrollaban su actividad en dichos centros.

Para terminar este esbozo de las instituciones para investigación asociadas a la JAE, señalaremos que también cubrían el área de las matemáticas. El Laboratorio de Matemáticas, organizado en marzo de 1915 y dirigido por Julio Rey Pastor, fue la creación de la Junta destinada para este fin. Aunque precariamente provisto –esa era al menos la opinión de los propios matemáticas involucrados, especialmente de Rey Pastor–, el Laboratorio desarrolló una importante actividad dentro de la, por otra parte, limitada altura de las investigaciones matemáticas realizadas en España durante el primer tercio del presente siglo. Si como muestra vale un botón, permítasenos señalar que cuando, en plena Guerra Civil, se tomaron medidas para clausurar el Laboratorio, el entonces Presidente de la Sociedad Matemática Española, José Barinaga, esto es, el representante de la organización de matemáticos más importante del país, escribía, el 8 de febrero de 1938, a Ignacio Bolívar, Presidente de la JAE, una carta (depositada en los Archivos de la JAE) que comenzaba de la siguiente manera: «La 'Sociedad Matemática Española', fundada en 1911, ha vivido, desde 1919, en íntima conexion con el clausurado 'Laboratorio Matemático' de la 'Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones científicas'. Esta estrecha convivencia se ha intensificado de tal modo en los diez y nueve años transcurridos que hoy es absolutamente imposible romper la coexistencia de ambas entidades. Mantener el cierre actual del Laboratorio entrañaría, inevitablemente, la disolución en plazo breve de la Sociedad».

Ensayos docentes

El 10/5/1918, Santiago Alta, ministro de Instrucción Pública, firmaba un R.D. donde se establecía que «con los elementos del Profesorado oficial, y bajo la inspección y dirección de la Junta para Ampliación de estudios e investigaciones científicas, se organizará en Madrid, con el carácter de ensayo pedagógico, un Instituto-Escuela de segunda enseñanza, con residencias anejas para todos o una parte de los alumnos, en el que se aplicarán nuevos métodos de educación y planes de estudios... se ensayarán al mismo tiempo sistemas prácticos para la formación del personal docente, adaptables a nuestro país».



Figura 8. Un departamento del Laboratorio de Entomología.

Así era fundado un «laboratorio pedagógico» que en opinión de aquellos reformadores de la enseñanza era preferible a disposiciones generales y uniformes que de la noche a la mañana afectan a todos los centros y personal docentes. A éstos llegaría la reforma según los resultados obtenidos por aquel experimento.

Para evitar posibles veleidades derivadas de los cambios políticos se encargó a la JAE administrar y dirigir el nuevo centro, diseñado por Castillejo, Zulueta y María de Maeztu. Se prefirió reclutar el personal del Profesorado oficial porque «excluye alarmas y suspicacias aún las más legítimas» dice la Exposición del R.D. Ninguno de ambos deseos fue conseguido, porque el ministro Callejo, en 1926, estuvo a punto de echar abajo el proyecto precisamente por dudar de que se estuviera cumpliendo con ecuanimidad el segundo deseo. Se nombró un Patronato que actuara con independencia integrado por Ignacio Bolívar, Blas Cabrera, Ortega y Gasset, Menéndez Pidal, José Gabriel Álvarez Ude, María de Maeztu y dos catedráticos del Instituto-Escuela elegidos cada año por sus compañeros.

Salvado el bache, al parecer por la habilidad gestora de Castillejo, consiguió el carácter de centro permanente con un R.D. del ministro Tormo en 1930. Entonces fueron nombrados catedráticos en propiedad: Francisco Barnés Salinas, de Geografía e Historia; Miguel Catalán Sañudo, de Física y Química; Julio Carretero Gutiérrez, de Matemáticas; Luis Crespi Jaume, de Agricultura; Federico Gómez Llueca, de Historia Natural; Samuel Gili y Gaya, de Literatura española; Miguel Herrero García, de Lengua latina; Andres León Maroto, de Física y Química; Antonio Martín Sáenz de Viquera, de Historia Natural; Martín Navarro Flores, de Filosofía y José A. Sánchez Pérez, de Matemáticas. Las cátedras que cada uno desempeñaba en Institutos de provincias fueron declaradas vacantes. Estos nombramientos suscitaron muchas disconformidades; de algunas hablaremos más adelante. Una de las quejas más sobresalientes de esa disposición es la del propio Castillejo, quien años más tarde escribe en

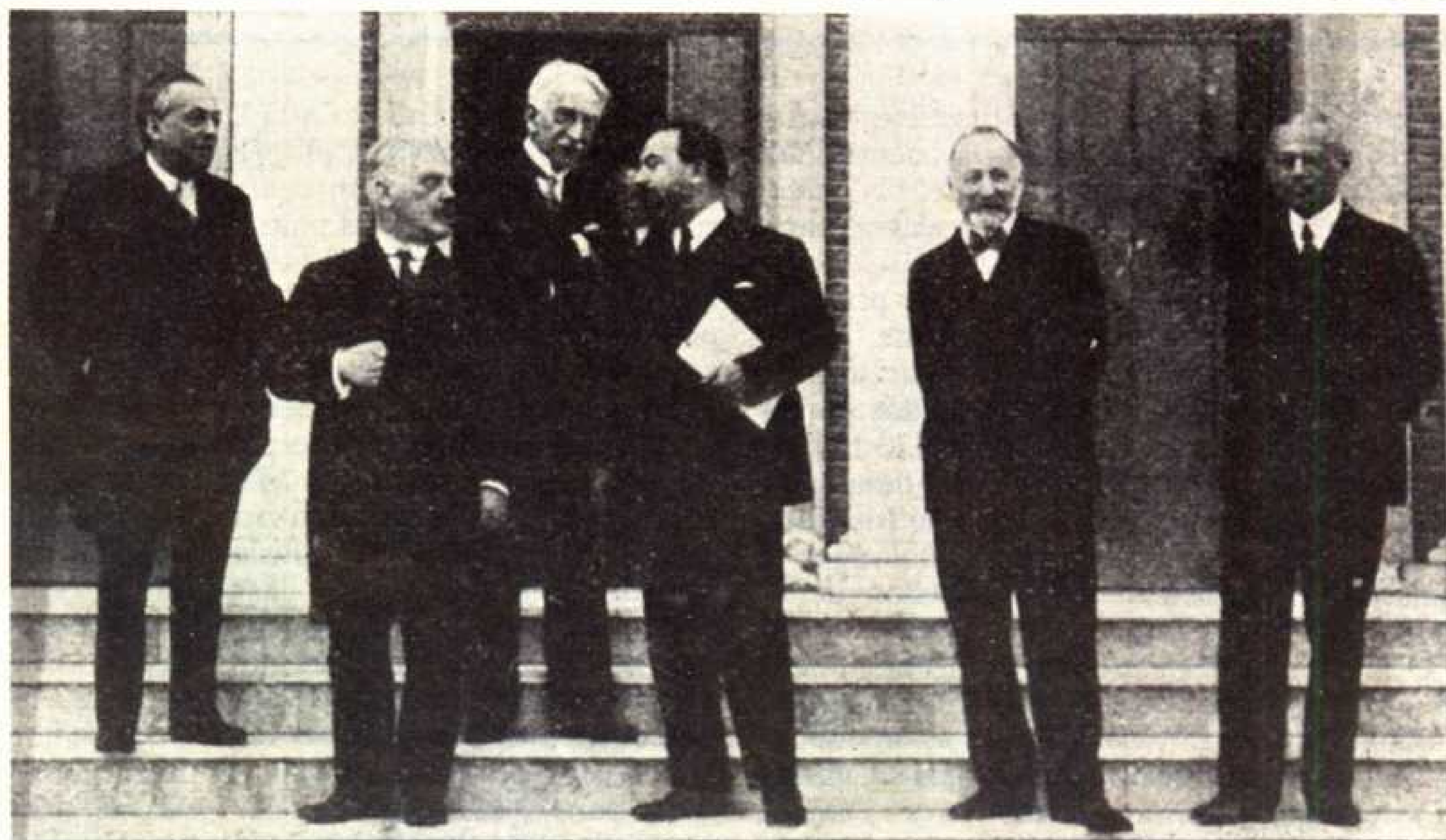


Figura 9. El Ministro de Instrucción Pública, Fernando de los Ríos, acompañado de Blas Cabrera –Director del Instituto Nacional de Física y Química– y de los profesores Sommerfeld, Willstäter, Weiss y Hönigschmidt, en el acto de la inauguración del Instituto («el Rockefeller») el día 6 de febrero de 1932.

DATOS ESTADÍSTICOS

A lo largo de los más de treinta años de existencia de la JAE fueron muchas las solicitudes de pensiones formuladas; más de 9.000. Menor fue, naturalmente, el número de pensiones concedidas, pero aún así fue significante: unas dos mil personas se beneficiaron de ayudas de la Junta. De hecho, la proporción de personas solicitantes/pensiones concedidas es mayor de lo que se puede pensar vistas las cifras anteriores, ya que de las 9.000 solicitudes, algo más de 3.000 fueron segundas, terceras o cuartas solicitudes. Tenemos así, por consiguiente, que aproximadamente una de cada tres personas que, en un momento u otro, aspiraron a una pensión de la Junta la consiguieron.

En un magnífico estudio realizado por F. Laporta, J. Solana, A. Ruiz y V. Zapatero *(La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas,* Fundación March 1980, 5 vols., 1.970 págs.), utilizando el Archivo de la Junta depositado en la actualidad en el CSIC, se dan datos muy interesantes relativos a los solicitantes de pensiones, a partir de los cuales se puede entender no sólo una parte de la actividad de la JAE sino también la propia estructura y situación del mundo académico español durante el primer tercio del siglo XX. A continuación tomaremos algunos de estos datos que consideramos especialmente ilustrativos.

Número de solicitudes por año

Durante 1907, el año de creación de la Junta, ya se solicitaron 206 pensiones; pronto este número aumentó significativamente: en 1910, 1911, 1912, 1913 y 1914 se recibieron, respectivamente, 359, 455, 468, 609 y 553 solicitudes. A partir de este momento la situación se estabilizó; con sólo dos excepciones (los años 1921 y 1922, 363 y 392 peticiones), a lo largo del período 1915-1931 no se superaron nunca las 270 solicitudes. Sin embargo, durante los últimos años de la Junta crecen de forma importante las peticiones: 305 en 1932, 416 en 1933, 592 en 1934, 616 en 1935 y 483 en 1986. Una posible lectura de estos datos es que la labor de la Junta iba consolidándose, que en España se investigaba más.

Sexo de los solicitantes

Sexo masculino:	7.671
Sexo femenino:	1.363

Es decir, una relación de 7 a 1. Por años, esta relación se mantiene bastante constante, si bien es cierto que a partir de 1931 se empiezan a registrar relaciones de, aproximadamente, 5 a 1.

Algunos datos sobre las mujeres solicitantes

Profesión	*Solicitudes*	*%*
Maestras	595	44
Profesoras Escuela Normal	178	13
Estudios Musicales	112	8
Inspectoras Enseñanza	84	6
Licenciadas Universitarias	70	5
Totales	1.039	76

Entre las 70 licenciadas universitarias, 23 habían estudiado Filosofía y Letras, 19 Medicina, 16 Ciencias, 5 Farmacia, 5 Derecho y 2 en Escuelas Técnicas.

Edades de los solicitantes

Edad	*N.º solicitudes*
De 7 a 15 años	21
De 16 a 20 años	368
De 21 a 30 años	3.223
De 31 a 35 años	816
De 36 a 40 años	407
De 41 a 50 años	333
De 51 a 60 años	70
De 61 a 70 años	7
Total registrado	5.245

Profesión principal de los solicitantes

Profesión	*N.º solicitudes*	*%*
Licenciados/graduados	2.642	29,5
Maestros	1.833	20,5
Profesores en general (excepto maestros)	1.580	17,6
Catedráticos	814	9
Artistas	608	6,8
Estudiantes	408	4,5
Funcionarios	398	4,4
Doctores	317	3,5
Total	8.929	

Profesiones con menor número de solicitantes

Profesión	*N.º solicitudes*
Clérigos	95
Obreros	62
Militares	45
Administrativos	41
Profesiones jurídicas	40
Periodistas	16
Industriales o comerciantes	10
Agricultura	2

Países solicitados

País	*N.º solicitudes* Mujeres	Hombres
Francia	719	3.307
Bélgica	439	1.137
Suiza	362	1.106
Italia	182	930
Alemania	125	1.730
Gran Bretaña	108	782
EEUU	33	296

Países a los que acuden los pensionados (1910-1934: datos de las Memorias de la JAE)

País	*% de pensionados*
Francia	29,1
Alemania	22,1
Suiza	14,2
Bélgica	11,8
Italia	8
Gran Bretaña	6,3
Austria	4,3
EEUU	3,2
Otros	1

Procedencia de los profesores solicitantes (1.580 solicitudes)

1. **Profesores universitarios (560 solicitudes; 35,4 %)**
   Medicina 216; Derecho 150; Ciencias 73; Filosofía y Letras 53; Escuelas Técnicas 40; Otros 28).
2. **Profesores de Escuelas de Grado Medio (735 solicitudes; 46,5 %).**
   Escuela Normal de Maestros 386; Escue-

Guerra de ideas en España: «Esto hacía imposible cambiar un maestro cuando no había más razón para ello que el haber encontrado uno mejor, derecho esencial para este experimento precursor»

Una interesante novedad fue la práctica coeducativa, con un cuerpo docente, sobre todo en la preparatoria, también de ambos sexos. No dio los resultados esperados por la falta de locales apropiados y en 1920 hubieron de separar la sección de bachillerato de niños y niñas, quedando éstas en el Instituto Internacional de la calle Miguel Ángel e instalando a aquellos en un pabellón de la Residencia de la calle Pinar.

Hay que destacar también la atrevida decisión de suprimir los exámenes como único medio para pasar de un curso al siguiente. Así como la posibilidad que tenían los alumnos de los dos últimos cursos (16 y 17 años) de elegir libremente las materias que deseaban estudiar. Al finalizar los estudios recibían un certificado equivalente al examen de ingreso en la Universidad. No obstante, el Plan de estudios fue diseñado con mucha cautela para no inquietar a la Universidad ni a la opinión pública. Comprendía una sección de Bachillerato con cuatro grados para estudios comunes y dos para estudios electivos. El Plan era cíclico de manera que todas las asignaturas eran impartidas en todos los niveles, convenientemente distribuidos sus contenidos y métodos. Y concedieron primordial importancia a la enseñanza activa, instalando Gabinetes, Laboratorios, Bibliotecas,Gimnasios, Aulas de Música, Talleres, etc. Sin olvidar la enseñanza de la Religión que era recibida por todos los alumnos, salvo impedimento expreso de las familias. Por ejemplo, en 1925 dice María de Maeztu que de los 400 niños de la Sección preparatoria no asistían a estas clases 46. Además de los Catecismos al uso (Astete, Ripalda) seguían textos escritos expresamente por Juan Zaragüeta para el Instituto-Escuela. De la religión en la Sección de Bachillerato se ocupaban Segundo Espeso, Luis Ruiz y el mismo Juan Zaragüeta. La finalidad del Plan Cíclico era evitar la ruptura que producía y sigue produciendo el paso de la enseñanza primaria a la secundaria y de ésta a la superior. Éste fue un objetivo básico del ensayo.

Para que el proyecto fuera consecuente había que atender a la formación del profesorado secundario. Este capítulo fue atendido con mucho interés y exigencia. Se planificó la preparación en dos fases: una en España, en un plazo mínimo de dos años en el Instituto-Escuela; otra, en el extranjero, como becarios de la JAE. El plan de trabajo en la primera fase consistía en: Prácticas de enseñanza, Colaboración en la obra general educativa de la Escuela, Preparación científica en la especialidad a la que cada aspirante pensase dedicarse, Estudios pedagógicos y filosóficos, Enseñanza de idiomas. Durante este tiempo no podían compatibilizar esta preparación con otra actividad fuera del Instituto-Escuela. En los cursos de preparación colaboraron Rey Pastor, Zulueta, Cossío, Benedito, Cabrera, Menéndez Pidal...

Proclamada la República e incautados los colegios religiosos se creó una Junta de sustitución de la Segunda Enseñanza, destinándose en 1933 27.980.821 pesetas para acondi-

las de Artes y Oficios 141; Escuelas de Comercio 94; Otras 114).
3. **Profesores de institutos de Bachillerato (218 solicitudes; 13 %).**
   Ramas de Ciencias 132; Ramas de Letras 42; Sin determinar 44.

Catedráticos (814 solicitudes)

1. **Universitarios (267 solicitudes; 32,8 %).**
   Filosofía y Letras 82; Derecho 61; Medicina 57; Ciencias 43; Otros 24.
2. **Escuelas de Grado Medio (125 solicitudes; 15,4 %).**
   Escuelas de Comercio 82; Escuelas de Artes y Oficios 10; Escuela Normal de Maestros 9; Otras 25.
3. **Institutos de Bachillerato (421 solicitudes; 51,7 %).**
   Ramas de Letras 233; Ramas de Ciencias 133; Sin determinar 55.

Áreas de conocimiento a las que se conceden las pensiones

Pedagogía 18,9 %; Medicina 18,6; Arte 10,5; Derecho 9,7; Química 6,3; Historia 5,7; Ciencias Naturales 5,1; Lengua y Literatura 4,2; Ingeniería y Técnicas 3,6; Psicología, Geografía, ciencias Políticas 3,2; Física 2,4; Economía 2,2; Matemáticas 2,1; Problemas Sociales 1,8; Arquitectura 1,1; Técnicas Administrativas 1,1; Filosofía 1; Sociología 0,7; Farmacia 0,7; Teología y Religión 0,1. Total 99 %.

Pensiones en grupo

Años	*N.º de grupos*	*N.º de personas*
1911	1	11
1912	4	44
1913	5	33
1921	6	71
1922	2	17
1923	2	11
1924	3	29
1925	3	29
1926	1	7
Totales	27	252

Los grupos predominantes fueron de maestros (13) e inspectores; hubo también algunos de maestros y uno de músicos.

cionamiento de locales, dotación de material y selección y formación del profesorado. Cuando fue disuelta la Junta, 26/7/1934, se habían organizado otros Institutos Escuela en Barcelona, Valencia, Málaga y Sevilla con el mismo propósito que el Madrid, aunque éste, en esos años, según Castillejo, «dejó de ser un laboratorio de experimentos educativos o un germen para el desarrollo de un nuevo sistema de educación secundaria, o un seminario para futuros maestros».

Otros ensayos docentes en que intervino la JAE fueron: la formación de maestros del Grupo Escolar «Cervantes», dirigido desde su creación por Ángel Llorca; la preparación de Inspectores de Enseñanza y Profesores de Escuelas Normales en los cursillos celebrados durante la República en lo que fuera construido para Palacio de la Primera Enseñanza y hoy es sede de la Escuela Superior del Ejército, en el paseo de la Castellana de Madrid; las actividades docentes complementarias de la Escuela Superior de Magisterio, y en la promoción de la Universidad de Verano de Santander fundada por Fernando de los Ríos en 1932, de cuyo Patronato eran miembros natos individuos del Centro de Estudios Históricos, del Instituto Nacional de Física y Química y del Museo de Ciencias Naturales (los dos primeros rectores fueron Menéndez Pidal y Blas Cabrera).

Publicaciones

Con el propósito de «mostrar al país el resultado del esfuerzo que él se impone [al sufragar con fondos públicos las actividades de la JAE] y aportar a la literatura científica española una masa de libros que difícilmente podrían publicarse por iniciativa privada, a causa de su clientela restringida», la Junta se embarcó desde el principio en una ambiciosa política de publicaciones. Las fuentes de las que procedían éstas pertenecían a alguno de estos tipos: Memorias, monografías e informaciones presentadas por los pensionados, que se incorporaban generalmente a los volúmenes de los *Anales* publicados regularmente por la Junta; obras que se producían en los distintos centros mantenidos por ella (se publicaba, por ejemplo, una *Revista de Filología Española,* órgano de la sección de Filología del Centro de Estudios Históricos); obras cuyo original era ofrecido a la Junta por sus autores; traducciones y adaptaciones de libros extranjeros que pudiesen servir de orientación; reproducciones de libros raros o de especial interés que «deba España ofrecer al mercado mundial», y publicaciones de la Residencia de Estudiantes.

No es esta la ocasión de entrar en un análisis detallado de las publicaciones de la Junta; únicamente nos vamos a referir, sirviéndonos para ello del *Catálogo* editado en 1935, al número de publicaciones en las diferentes áreas cubiertas por la Junta, para así mostrar, de una manera sin duda grosera, los esfuerzos realizados en tales campos de investigación.

Número de publicaciones

Prehistoria 43; Historia 54; Arte y Arqueología 51; Música 5; Lingüística 39; Literatura 137; Filosofía 7; Pedagogía 56; Derecho 62; Folklore 6; Matemáticas 24; Física 134; Química 90; Biología general 13; Histología 113; Fisiología 37; Zoología 56; Botánica 43; Mineralogía 28; Geología 37, y Paleontología 21.

Una vez más, es difícil evitar la impresión de la solidez de las ciencias biomédicas.

Residencias de estudiantes: estancia y cultura

Poco puede decirse de la Residencia de los Altos del Hipódromo de Madrid que no se haya dicho ya. La estancia en ella de gentes luego tan populares como Lorca, Alberti, Buñuel, Ochoa, Dalí, etc., la han convertido con objeto de atención por quienes han estudiado aquella generación desde puntos de vista literario, artístico o científico.

La Residencia fue creada por R.D. de 6/5/1910 y puesta bajo la tutela de la JAE. Estaba concebida como un complemento para la vida universitaria, al estilo de lo que se hacía en las universidades americanas e inglesas. (El libro de John Crispin, *Oxford y Cambridge en Madrid. La Residencia de Estudiantes y su entorno cultural,* retrata muy bien este intento). Y por ella pasó lo más granado de la intelectualidad española, de todos los ámbitos, del primer tercio de este siglo.

Desde su fundación la dirigió Alberto Jiménez Fraud, casado después con Natalia Cossío, expresamente llamado por Giner para «lanzar un pequeño colegio universitario». «Me puse en viaje –cuenta Jiménez Fraud–, y en el mes de septiembre de 1910 me instalé en un hotelito de la calle Fortuny, hacia el final del paseo de la Castellana, y repartimos unos folletos anunciando para la apertura del curso universitario la apertura de una Residencia de estudiantes». Prefirieron el nombre de Residencia al de Colegio, para no suscitar las viejas polémicas habidas allá por los finales del XVIII cuando Carlos III y los ilustrados pretendieron reformar la Universidad española, entre colegiales, residentes privilegiados de los famosos Colegios mayores, y manteístas, «especie de mosquetería de la Universidad», que vivían en posadas, casas de huéspedes o como podían.



Figura 10. María de Maeztu, directora de la Residencia de Señoritas, profesora del Instituto-Escuela de Madrid.

En 1915, los hoteles que comprendían la Residencia de Fortuny pasaron a ser Residencia de señoritas, dirigida por María de Maeztu, y la de Estudiantes –la «Resi»– se instaló definitivamente en la calle Pinar, en lo que Juan Ramón bautizó como la «colina de los chopos». «De la organización de esto –escribe Juan Ramón a su madre– habría que estar un día escribiendo. Alberto Jiménez Fraud, mi íntimo amigo, Director de esta Residencia, es el hombre perfecto. Tiene veintiocho años y lleva esto de un modo que no se puede explicar; hay que verlo». Éste fue el sentir general de cuantos pasaron por allí.

Simultáneamente a la creación de la Residencia se organizó un Patronato de estudiantes y Delegaciones en el extranjero con el fin de atender a los estudiantes extranjeros que vinieran a España y a los españoles que salieran al extranjero. En 1931, con el ministro Marcelino Domingo, se facilitó a la JAE ampliar el campo de acción del Patronato

aumentando el intercambio de becarios con otros países, entre centros docentes o entre familias y se confió a la JAE la creación de Colonias internacionales de vacaciones donde convivieran alumnos españoles y extranjeros.

La Residencia, es bien sabido, fue un foco cultural de primera magnitud. Hay que destacar la actividad desarrollada a través de su *Sociedad de Cursos y Conferencias* fundada en 1924. En las matrículas convocadas para cada curso académico recibía unas 500 inscripciones. El precio de la matrícula ordinaria era 40 pesetas; la reducida, 20; y había socios protectores que pagaban 200 pesetas por curso. Las listas de socios muestran la aceptación que esta iniciativa había despertado entre la aristocracia y la clase acomodada madrileña. Con anterioridad a la creación de la Sociedad, la Residencia tenía establecida una cátedra por la que pasaron ilustres conferenciantes (Bergson, Eddington, Wells, Einstein...). En tono más íntimo, los residentes celebraban lo que llamaron «tertulias nocturnas y cursillos de noche», a los que invitaban a conocidos personajes como Valle-Inclán, Unamuno, Machado, León Felipe. En estas reuniones se alternaban las charlas con los recitales poéticos y musicales.

Contaba la Residencia con laboratorios, una importante biblioteca e instalaciones deportivas a las que la JAE prestó tanta atención que los residentes solían llamarla la «Junta para Amplicación de Estadios». Se organizó una sociedad de deportes que fomentó la práctica del tenis, el hockey y el rugby, además de otros más habituales como el fútbol y el alpinismo que tuvieron sus respectivas Asociaciones. Los residentes, en particular el grupo de teatro La Barraca, y otros interesados en el cine, la fotografía, la pintura y la literatura tomaron parte en las actividades de extensión cultural desplegadas por las Misiones Pedagógicas que dirigió Cossío y tan bien recibidas fueron en pueblos y aldeas donde el analfabetismo alcanzaba casi a la totalidad de la población. En la revista *Residencia,* fundada en 1926 con carácter cuatrimestral, se daba cuenta de la variedad de acciones emprendidas desde esta institución de la que, sin haberla habitado, se tiene una sensación nostálgica.

La Residencia de Señoritas admitía alumnas de las facultades universitarias, Escuela Superior de Magisterio, Escuela Normal, Conservatorio de Música, Academias de Arte y Escuela Técnicas y de Comercio. También recibía grupos de extranjeras inglesas y americanas procedentes del Smith College y el Instituto Internacional de Boston.

Las Residencias no interrumpieron su marcha desde su creación hasta la guerra. En julio de 1936, en la de Estudiantes, había muchos extranjeros por lo que estuvo unos días bajo la protección de las embajadas británica y norteamericana. Vueltos a sus respectivos países, se sucedieron algunos conflictos que pusieron en serio peligro la vida de Jiménez Fraud quien ya había enviado fuera de España a sus hijos. Él y su esposa salieron para el exilio en septiembre de 1936. En esos intensivos primeros meses de la guerra, la Residencia fue sucesiva y casi vertiginosamente escuela infantil de niños pobres o huérfanos, refugio momentáneo (Ortega y Gasset, Prieto Bances y otros prefirieron la Residencia a sus domicilios particulares), cuartel de Guardias de Asalto y, por último, Hospital de Carabineros atendido por Rafael Méndez y Luis Calandre.

Ocaso y liquidación de la Junta

Américo Castro, en *El Sol* (21/3/1935), a propósito del libro de Salvador de Madariaga *Anarquía o jerarquía,* entrecomillaba estas palabras: «En la psicología española, seca y requemada, por faltarle el agua de la solidaridad y sobrarle el fuego de la pasión, se abren estas grietas de separatismo. Nacen del temperamento: ni una razón, ni una emoción fundada pueden explicarlas. Son algo más hondo, que sólo una *educación del alma* puede ir corrigiendo gradualmente». Así se lamentan ambos del resquebrajamiento entre el caso admirable de unanimidad del 14 de abril de 1931 y lo que después fue sucediendo en las propias filas republicanas. Y no digamos ya de los sucesos a partir de 1936.

«A la República –dice Castillejo– le ha faltado sosiego, paz y confianza pública». Pero no le faltaron buenos propósitos para culminar la labor iniciada por la JAE en 1907, si bien la primera etapa republicana estuvo más atenta a incrementar la educación popular que la investigación científica. La Fundación Nacional ya comentada fue buena prueba de esos propósitos, concebida como una comisión neutral, apartada de intereses políticos y capacitada para llevar a cabo, sin levantar sospechas, reformas «que provocarían una feroz oposición si se imponían por el voto de la mayoría». Pero el propio Castillejo, a quien pertenece la frase, se lamenta del escaso éxito de la Fundación, dificultada por los reformadores políticos que a la cabeza de los Ministerios querían apuntarse tanto las iniciativas como la ejecución. «En muchos casos –dice– preferían,

LA JUNTA: DIVISIÓN DE OPINIONES

«La Junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas fue una idea difícilmente digerible para los políticos españoles. Los ministros afirmaron su propia autoridad exclusiva y la responsabilidad en la administración de fondos públicos y en designar a las personas a quienes debía pagarse. Era difícil convencerlos de la diferencia entre conceder una beca para la investigación científica y nombrar un jefe de policía. Finalmente, se llegó a un compromiso: la Junta sometería cada año una propuesta para el uso que debía hacerse de las becas acordadas por el Parlamento. Los ministros nunca denegaron su aprobación.»
José Castillejo, *Guerra de ideas en España* (*Revista de Occidente,* Madrid, 1976), p. 101, 1.ª edición inglesa en 1937.

«El siglo XIX, siglo de ensayos, se limitó a lo mismo de siempre. Con espíritu negativo formó un ensayo de educación y cultura: la Institución Libre de Enseñanza, y una generación de ensayistas derivada de ésta: la «generación del 98», que arrastrando y extremando la triste herencia del siglo que los creó, se dedicaron, no al resurgimiento de la Universidad Hispana, sino a acabar con España misma, convirtiendo el país en una masa informe, sin ideales ni personalidad, extranjerizada y embrutecida, que ha necesitado para salvarse el Movimiento Nacional, generoso de sangre y espléndido de vidas; todo fe, creación y triunfo: fe en lo tradicional, creación de lo nuevo y triunfo del imperio de ambos... Y la *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* –válgame lo retumbante del título–, el gran organismo unificador institucionista, algo así como el gran Oriente o el gran timo de la Institución, capitaneada por el forajido Castillejo.»
Joaquín de Entrambasaguas, *Pérdida de la Universidad Española* (Delegación Nacional de Prensa, Propaganda de FET, de las JONS, Bilbao 1938), ps. 13 y 47

«La Junta para Ampliación de estudios era intangible, poderosa, vedada, invencible, inaccesible, tenaz y por encima de todo: cacique.»
Miguel de Castro Marcos *El Ministerio de Instrucción Pública bajo la dominación roja. Notas de un espectador imparcial* (Enrique Prieto, Madrid, 1939), p. 5

«La Junta de Ampliación de Estudios era el germen de toda clase de instituciones que se quisieron ir proponiendo al Gobierno. La primera Junta, manejada por elementos institucionistas, fue aprobada por el Gobierno. Esta Junta se renovaría por mitad de cuando en cuando, pero la propuesta la hará al Ministerio la Junta saliente. De donde resultó que como en la primera Junta la influencia real la tenía la Institución Libre, las nuevas Juntas quedaron con el mismo influjo de la Institución, a pesar de la presencia de algunos elementos católicos, que no se daban cuenta de su papel de tapadera o, dándosela, juzgaron más oportuno continuar allí para evitar mayores males.»
P. Enrique Herrera Oría, S.J., *Historia de la Educación Española* (Edición Veritas, Madrid, 1941), p. 334

«El Ministro de Instrucción Pública, don Amalio Gimeno, creó la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, que se organizó modestamente y con el buen deseo de que salieran al extranjero profesores que tuvieran propósitos de estudiar y de innovar la vida académica... No tardó en funcionar con cierta cautela, ni en apoderarse de ella un grupo minúsculo de profesores y adláteres de la Institución Libre de Enseñanza, con lo cual adquirió un tinte sectario, del que ya no la pudieron desposeer sus buenas obras y su proceder libre de todo sectarismo. Estas personas, que fueron luego un núcleo pedagógico serio, fueron muy discutidas y no siempre con justicia, porque gracias a su inteligente preparación no procedían con escándalo, ni daban batallas que no pudieran ganar con toda razón. En ello aventajaban a los mediocres derechistas, que pasaban la vida ladrando a la luna sin beneficio colectivo, ni siquiera personal.»
Obdulio Fenández, *Recuerdos de una vida* (Madrid, 1973), p. 115

«Éramos un pueblo de analfabetos; lo eran al cabo en verdad muchísimos de los que teóricamente sabían leer y escribir. Medio siglo de paz y la *Junta para ampliación de Estudios* cambiaron nuestro panorama cultural. Y no quiero dejar pasar esta ocasión sin dedicar una encendida loa a esa gran empresa de la que fue alma Castillejo. Se ha hablado del medio siglo de oro español que precedió a nuestra tragedia civil. Y se ha hablado con razón pues abarcó a todas las producciones del espíritu, incluso a la filosofía, la ciencia y la técnica.»
Claudio Sánchez Albornoz, *Mi testamento histórico-político* (Planeta, Barcelona, 1975), p. 151

por razones políticas, la imposición a la demostración». De manera que lo poco realizado fue en el ámbito de Instrucción Pública, cuanto el proyecto era implicar al resto de los Ministerios, y con el desasosiego que supone 16 cambios de ministro en aquella cartera entre abril de 1931 y julio de 1936.

Ya hemos hablado de otros debilitamientos que afectaron a organismos de la JAE, a los que podríamos añadir: la dimisón de María de Maeztu de la Sección Preparatoria del Instituto Escuela (1934), «por problemas internos»; el recorte de la subvención al Patronato de las Misiones Pedagógicas (1935); o la limitada dotación de las pensiones al extranjero, casi sin actualizar desde la creación de la JAE. Respecto a las personas, recordemos que Castillejo fue sustituido en la Secretaría por Prieto Bances, y en 1935, muerto Cajal, fueron nombrados: Ignacio Bolívar, presidente; y Menéndez Pidal y Casares Gil, vicepresidentes.

No obstante, la JAE, acostumbrada a luchar contra viento y marea, mantuvo sus organismos con vitalidad suficiente para seguir adelante hasta el levantamiento militar de 1936. A partir de entonces sobrevino la muerte súbita de una España que parecía haber remontado el atraso secular de sus instituciones y de la que puede ser su esquela mortuoria esta nota a «La muerte de Unamuno» publicada en Hora de España (Valencia, Enero, 1937):

«Miguel de Unamuno ha muerto aislado, en su casa de Salamanca. Ha muerto en la tarde de ese primer día del año 1937, que el pueblo español designa con el nombre de «El año de la Victoria».

La muerte de Unamuno, como los rumores atroces alrededor de otros nombres, traducen al campo de la intelectualidad española la pavorosa tragedia popular de una nación conmovida hasta sus cimientos. Unamuno, a quien todos hemos amado y combatido, muere como era fatal que muriese, en flagrante contradicción con todos y con todo.

Miguel de Unamuno no tenía un desemboque *real*. Su fuego no era, quizá, de este tiempo; pero era fuego, y como tal, era vida.

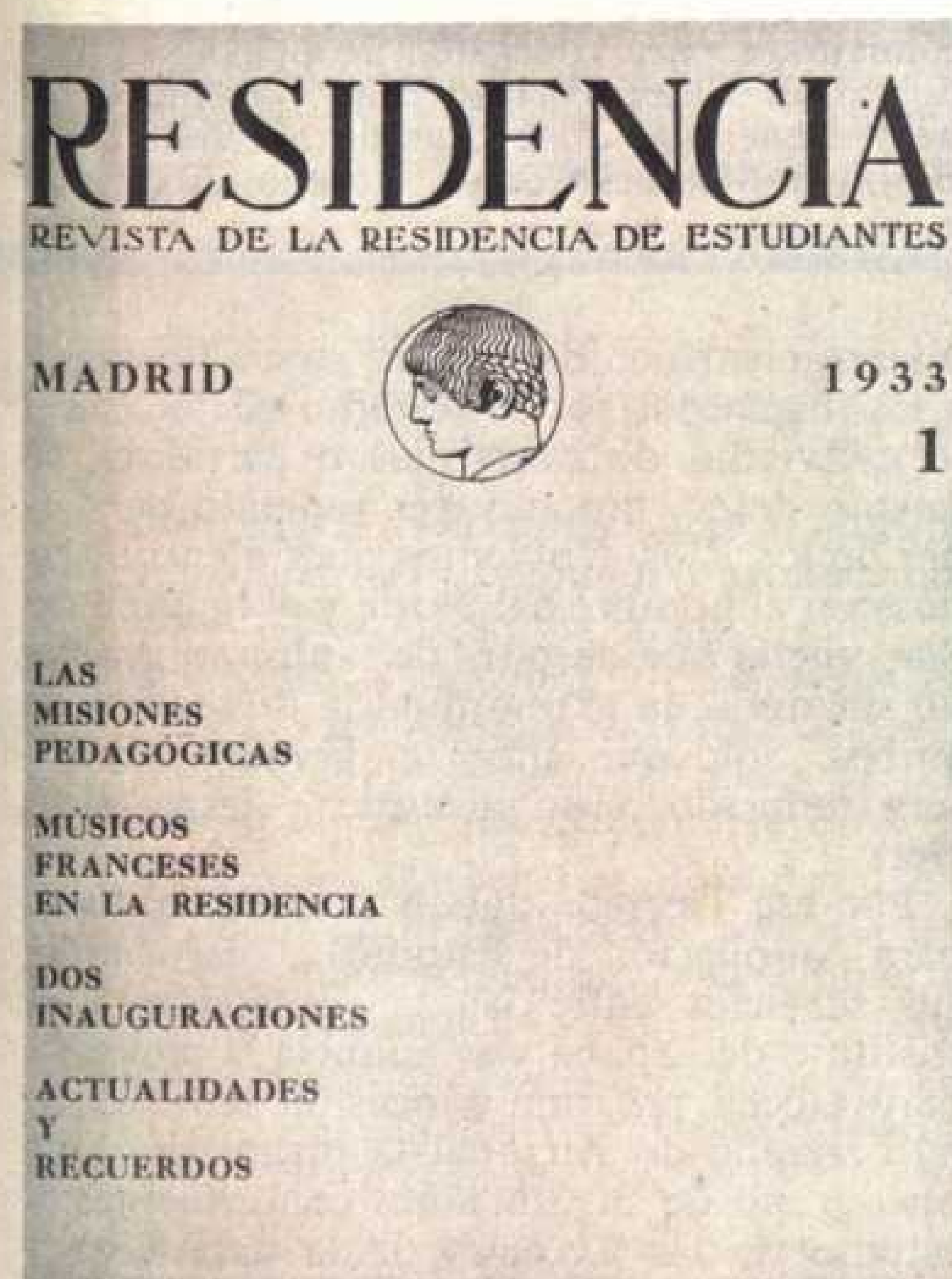

RESIDENCIA
REVISTA DE LA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES
MADRID 1933
1
LAS MISIONES PEDAGÓGICAS
MÚSICOS FRANCESES EN LA RESIDENCIA
DOS INAUGURACIONES
ACTUALIDADES Y RECUERDOS

Figura 11. Portada de la Revista editada por la Residencia de Estudiantes que dependía de la JAE.

Él, como nadie, se habrá llevado a la tumba el frío de una España triste, paseada por mercenarios».

Aquella España se fue desvaneciendo hacia el Mediterráneo, acaso a la querencia de unas aguas por donde en otro tiempo llegaron prometedores ambientes culturales.

El estallido de la guerra precipitó la caída de la JAE, que también había despertado recelos en un sector del profesorado de izquierdas. Renovada la junta de la Asociación de Catedráticos de Instituto de 18/8/1936, a la que sólo podían pertencer miembros de partidos integrados en el Frente Popular, deciden incautarse de los edificios de la JAE e iniciar la depuración de su personal. Conocidos son los acontecimientos en torno a Castillejo, sacado de su domicilio para ser «paseado» –según Luis Palacios en *José Castillejo. Última etapa de la Institución Libre de Enseñanza*– por profesores conocidos suyos. Fue conducido al antiguo Palacio de Hielo, en la calle Medinaceli de Madrid, donde estaban el Centro de Estudios Históricos y las oficinas de la JAE, sobre la que por entonces ya no tenía poderes Castillejo, para que les entregara llaves y documentos. Gracias a la intervención del ministro Barnés, Menéndez Pidal, Paulino Suárez (médico de la Residencia) y otros amigos, el asunto se resolvió saliendo Castillejo para el exilio a Londres, adonde días antes había enviado a su familia temeroso de la situación.

En agosto de 1936 fue confirmado como presidente de la Junta, Ignacio Bolívar, Director del Museo de Ciencias Naturales, y nombrado secretario Tomás Navarro. Fueron cesados los vocales: Casares Gil, Juan de la Cierva, Amalio Gimeno (el ministro fundador de la JAE), Inocencio Jiménez, Luis Marichalar, José Mavá, Gabriel Maura, Sánchez de Toca, Jacobo Stuart Falcó, José María Torroja y Juan Zaragüeta. Continuaron: Menéndez Pidal, Torres Quevedo, Manuel Márquez, Álvarez de Sotomayor, José María Castellarnau, García Tapia y Teófilo Hernado. Confirmaciones más testimoniales que efectivas, porque la JAE ya había perdido lo que algunos calificaron de «salvaje autonomía». Wenceslao Roces, desde Instrucción Pública, declara caducadas en septiembre de 1936 todas las pensiones al extranjero. Se da un plazo de 15 días para el regreso, salvo aquellos enviados por la República después del 18 de julio. Algunos reclaman dinero para volver, como le ocurre a Dámaso Alonso desde Alemania, y se les comunica que lo recibirán «en sus respectivas residencias de la zona leal», donde el ministro ya no tiene nada que ver con el institucionismo: a Francisco Barnés le sucedió en el cargo Jesús Hernández Tomás, del Frente Popular. En 1937 este Ministerio pasó a denominarse de Instrucción Pública y Sanidad, necesariamente más atento a ésta que a la docencia e investigación.

En diciembre de 1936 es nombrada una Comisión provisional en Valencia para continuar la labor de la JAE: Manuel Márquez, presidente; Moreno Villa y Victorio Macho, vocales. A quienes se suma poco después Luis Álvarez Santullano como vicesecretario. La última organización de la JAE en Valencia, trasladada allí parte de la Universidad de Madrid, fue: Ignacio Bolívar, presidente; Navarro Tomás, secretario; M.ª Gloria Giner, Antonio Madinaveitia, Luis Jiménez de Asúa, Antonio Jaen Morente y Marcelino Pascua, vocales.

Realmente no hubo labor para la JAE, salvo participar en las dispersas actividades culturales orientadas a la formación obrera y



Figura 12. Ignacio Bolívar, Director del Museo de Ciencias Naturales, presidente de la JAE después de la muerte de Cajal (1935).

las desarrolladas con los soldados. La casa de la Cultura organizada en Valencia –pasó a Barcelona en 1937– para acoger a profesores, artistas e intelectuales publicó varios números de las revistas «Nueva Cultura» y «Madrid», donde aparecen trabajos de Bolívar, Moles, Rioja, Gili Gaya, Navarro Tomás, Duperier, Lafora, Sacristán, Carrasco Garrorena, Justa Freire, formados al amparo de la JAE y de la que son su último testimonio dentro del país. Otros corrieron destinos diversos: unos desposeídos de sus cargos (María de Maeztu, Luzuriaga, Domingo Barnés); algunos destinados al extranjero (Fernando de los Ríos, Francisco Barnés, Luis de Zulueta); y bastantes declarados incursos en el Art. 171 de la ley de Instrucción Pública que castigaba con la expulsión a quienes no se presentaran en su puesto docente, circunstancia agravada por la modificación de distritos universitarios, el agrupamiento en Valencia de algunas facultades (la de Ciencias de Madrid, entre ellas) y la disposición de 28/8/1937 obligando al profesorado a impartir sus clases donde el Ministerio decidiera. Se vieron afectados por el Art. 171, entre otros, José A. Zubiri, Américo Castro, Sánchez Albornoz, Ortega y Gasset, Luis Recasens, Hugo Obermaier, Luis de Zulueta, Blas Cabrera, Agustín Viñuales, Alfonso García Gallo, Prieto Bances, Alcalá Zamora, Pérez Bustamente, Gil Robles, Joaquín de Entrambasaguas, Albareda Herrera, Camón Aznar, Esperabé Arteaga.

En la zona nacional, José María Pemán, Presidente de la Comisión de Cultura y Enseñanza, envía una circular fechada en Burgos (7/12/36) a los vocales de las Comisiones depuradoras del personal docente, recordándoles «la trascendencia de la sagrada misión» que no sólo es punitiva sino preventiva y que deben realizar meticulosamente «si se quiere hacer fructífera la sangre de nuestros mártires». Deben poner especial atención, les dice, en «los individuos que integran esas hordas revolucionarias –el llamado "Frente Popular"– cuyos desmanes tanto espanto causan, son sencillamente los hijos espirituales de catedráticos y profesores que, a través de instituciones como la llamada «Libre de Enseñanza» forjaron generaciones incrédulas y anárquicas».

No cabe duda que la suerte estaba echada y el terreno propicio para la desaparición de

AL MARGEN DE LA JUNTA

Ya hemos dicho que Castillejo dejó la secretaría de la JAE para hacerse cargo de la Dirección administrativa de la *Fundación nacional para Investigaciones científicas y Ensayos de reforma*, creada en 1931 por el ministro de Instrucción Pública, Marcelino Domingo, durante el Gobierno Provisional de la República.

La Fundación, independiente de la JAE, venía a completar la labor de ésta «cuya perseverante acción –se dice en el Decreto fundacional de aquélla– muestra ahora sus frutos en el reconocimiento científico de nuestro país; pero los medios que se le han otorgado y el área de su acción, limitada al Departamento de Instrucción Pública, son ya insuficientes». Recordemos que la Junta no tenía atribuciones sobre titulados y profesionales dependientes de otros Ministerios, tales como Ingenieros, Arquitectos y Centros de Promoción Obrera.

La nueva fundación intenta responder a las mismas pretensiones que otras ya existentes en Europa y América, muchas surgidas a raíz de la Primera Guerra Mundial sobre la que en el Decreto antes citado se opina: «ha reformado la fe de nuestro siglo en el poder creador de la inteligencia humana y ha difundido esa fe entre las masas, fascinadas ante la magnitud y profusión de inventos que multiplican el poder y el bienestar». Palabras que recuerdan, una vez más, la oratoria e intenciones de los reformistas ilustrados que ahora, a más de siglo y medio de distancia, hubieran visto culminados sus deseos europeístas. Entre las fundaciones tomadas como ejemplos a seguir se cuentan: el *Fondo Nacional para las investigaciones*, en Bélgica; la *Fundación Kaiser Wilhelm*, en Alemania el *Trust Imperial para el fomento de la investigación científica e industrial* y el *Departamento de Investigación científica e industrial*, en Inglaterra; la organización *Glawnauka*, en Rusia; el *Consejo Nacional de Investigación*, en Estados Unidos; la *Caja J. Mianonwski*, en Polonia, el *Consejo Nacional de Investigaciones*, en Italia; y el *Instituto de Investigaciones científicas Rocha Cabral*, en Portugal.

Los fines de la nueva fundación española eran mucho más amplios que los de la JAE. Debía atender: el fomento de la investigación científica pura y aplicada; la formación de personal científico; la incorporación de industrias e intereses privados a las actividades investigadoras; la coordinación de trabajos realizados desde diversos centros para ahorrar esfuerzos y crear un ambiente de cooperación; el cultivo de las relaciones científicas con el extranjero mediante el intercambio de profesores y alumnos, colaborando con laboratorios internacionales y participando en congresos científicos; así como la propuesta y apoyo de ensayos de reformas para implantar «sistemas nuevos que puedan mejorar la riqueza, la cultura o la administración del país».

Para llevar a cabo tal empresa se pusieron a disposición de la Fundación instituciones y servicios ya existentes; la posibilidad de fundar otros; subvencionar a Universidades, Escuelas de Ingenieros y Profesionales, Bibliotecas, Laboratorios, Asociaciones y Empresas públicas o privadas; conceder becas para dentro y fuera de España; costear publicaciones, libros y material científico. Y además podían proponer comisiones de servicio para el personal que justificadamente precisaran y mantener puestos de trabajo disponibles para incorporar a quien conviniera.

Formaron parte de la Fundación los siguientes centros: Centro de Investigaciones Vinícolas, Instituto de Estudios Internacionales y Económicos, Laboratorio Torres Quevedo, Instituto Cajal, Seminario Matemático, Laboratorios de Histología y Cultivo de Tejidos de Valladolid, de Química orgánica de Salamanca, de Geoquímica de Santiago, de Fundiciones de Valencia, de Química de Oviedo, de Hematología de Zaragoza, de Genética de Salamanca, de Embriología de Cádiz. Y en el Consejo de Administración, además de Castillejo, figuraban: Teófilo Hernando (presidente) y los vocales Julián Besteiro, Ossorio y Gallardo, José Pedregal, Pedro Corominas, Agustín Viñuales, José M.ª Tallada, Antonio García Varela, Pedro González Quijano, Carmelo Benaiges, Rodrigo de Rodrigo, José Giralt y Ernesto Winter.

De las esperanzas puestas por la República en la Fundación dan prueba las cantidades asignadas en los Presupuestos del Estado. Particularmente, en el Proyecto de Ley de 15/6/1932, propuesto por Fernando de los Ríos, se dispone que la subvención anual no sea menos de un millón de pesetas, hasta alcanzar en diez años una cantidad mínima de quince millones.

Lo frustrante de esta historia es que apenas iniciaron sus actividades los centros de nueva creación y que no llegó a concluirse ni el primer proyecto, aunque se llevó, en poco tiempo, buena parte de esos 15 millones a diez años. Claro que el proyecto hubiera necesitado eso y más; se trataba de organizar una expedición al Amazonas empezando por la construcción del barco adecuado. «Al Amazonas o adonde fuera nos hubiéramos ido de España, es decir, de lo que decían que era España, antes del Movimiento Nacional», diría poco después Entrambasaguas a propósito de la expedición y, en particular, de los dineros empleados.

El fomento de la investigación técnica y el consiguiente envío de pensionados al extranjero fue también planificado desde Ministerios distintos al de Instrucción Pública. Las Escuelas de Ingenieros y las de formación profesional obrera han dependido a lo largo de su historia de Ministerios diversos. La tendencia de los ingenieros era pertenecer al Ministerio más afecto a sus respectivas profesiones, y procurando si fuera posible no depender de Instrucción Pública. No obstante, a partir de 1907, era casi norma que para la concesión de pensiones desde cualquier organismo oficial interviniera algún representante de la JAE. Así, el mismo año 1907, el Ministerio de Fomento decretó la concesión anual de 15 pensiones a alumnos de Ingenieros que acabaran sus carreras en Minas, Montes y Agrónomos y 100 pensiones para obreros manuales «que en el estudio de la producción e industrias extranjeras deseen perfeccionar los medios propios de trabajo o ampliar los conocimientos ya adquiridos». Antes de salir los obreros al extranjero realizaban un período de preparación en Barcelona u otra ciudad industrial designada por la *Junta Central del Patronato de Pensiones*, dependiente del Ministerio de Fomento. Esta Junta estaba integrada por los presidentes del Instituto de Reformas Sociales, del Instituto Nacional de Previsión y de la Junta para Ampliación de Estudios, un obrero y cinco ingenieros. La Junta de Pensiones fue disuelta en 1931 porque con la Segunda República las Escuelas de Ingenieros y los Centros Profesionales pasaron a depender de Instrucción Pública.

Durante la Dictadura de Primo de Rivera se estableció, en 1928, un *Patronato de Pensiones Libres*, dependiente de Instrucción Pública, del que ocupaba la cartera Callejo de la Cuesta. Tenía como misión «conceder premios para realizar estudios, investigaciones o experiencias en España o el en extranjero, sobre cualquier disciplina científica o artística y sus aplicaciones». Los solicitantes no tenían necesidad de acreditar título, ni estudios oficiales, «siendo preferidos los que carezcan de ellos». El Patronato estaba formado por el Ministro de Instrucción Pública, los Directores Generales de Enseñanza Superior y Secundaria y el de Bellas Artes, dos vocales nombrados por el Ministro entre Académicos, Catedráticos o Consejeros de Instrucción Pública y como Secretario un jefe de Sección del Departamento. Fueron vocales Torres Quevedo y Sánchez Cantón. En las comisiones para concesión de pensiones participaron: Elías Tormo, Blas Cabrera, Manuel Benedito, José Ramón Mélida, Luis Bermejo, Manuel Gómez Moreno, Juan Usa-

---

la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. En una zona, se consumió; en la otra, se formalizó su extinción, rotundamente.

El general Franco, desde Burgos, crea el Instituto de España el 8/12/1937, fecha expresamente elegida para colocar «la vida doctoral bajo los auspicios de la Inmaculada Concepción de María». La nueva institución agrupaba a todas las Reales Academias que el ministro frentepopulista Hernández había disuelto el 15/9/1936, dispuesto a integrarlas en un Instituto Nacional de Cultura que no llegó a funcionar. En su lugar, con el mismo fin pero sin ningún resultado, nombró una Comisión con miembros de la JAE y catedráticos de la zona leal (Bolívar, Navarro Tomás, Carrasco y Garrorena).

Una ley de 30/1/1938 organiza la Administración Central del Estado desde la zona liberada. Se crea el Ministerio de Educación Nacional entregando la cartera a Pedro Sáinz Rodríguez, quien nombró para encargarse de las Enseñanzas Superior y Media a José M.ª Pemartín y de la Enseñanza Primaria a Romualdo de Toledo, activos simpatizantes de la FAE. El nuevo ministro pone a todos los centros docentes bajo el patronazgo de Santo Tomás de Aquino, «Ángel de las Escuelas y gloria eterna de la creación de un sistema justamente denominado después "Perenne Filosofía"».

El 19 de mayo de 1938 se cumplían 26 años de la muerte de Marcelino Menéndez Pelayo. En 1937, representantes de todos los sectores del Movimiento Nacional le rindieron un homenaje en el Paraninfo de la Universidad de Salamanca, todavía bajo los ecos del «vencer no es convencer» unamuniano, estentóreamente replicado con el «¡muera la inteligencia! ¡viva la Muerte!» de Millán Astray, en aquel memorable Día de la Raza de 1936. En este año de 1938 se conmemora la muerte del polígrafo santanderino con un Decreto suscrito por el ministro Sáinz Rodríguez, quien espera el renacimiento científico de nuestra patria liberando a los dispuestos para el estudio «de la funesta esclavitud de camarillas o partidos». El mismo deseo, tantas veces repetido por Giner de los Ríos. Volvemos pues a encontrarnos con el hombre del Norte y el hombre del Sur; vuelta que después de tantos años refleja, sin duda, la extraordinaria dimensión de ambos. Sólo que ahora el hombre del Sur será reducido a un absurdo y largo silencio.

Por ese Decreto quedó disuelta la Junta para Ampliación de Estudios, repartiéndose sus servicios entre las Universidades y el Instituto de España y se anuncia la previsión para «fecha próxima y ocasión también de alto significado nacional la organización de otro grupo de Instituciones concernientes al estudio de las Ciencias de la naturaleza y matemáticas». Es la primica de la fundación, el 24/11/1939, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Con él empieza otra historia. ■

biaga, Rafael Domenech y Enrique Martínez Cubells. Este Patronato también quedó disuelto en 1931. La creación del Patronato dentro de Instrucción Pública, consolidada ya la JAE, puede ser una muestra de las tensiones a que ésta se vio sometida en el propio Ministerio.

Otros organismos que, en vida de la JAE, pretendieron la formación de personal cualificado para la ciencia, la industria y las profesiones en general, fueron: el *Centro de Estudios e Investigaciones Científicas* anejo a la Universidad de Zaragoza; el *Instituto Nacional Agronómico de Investigaciones y Experiencias;* el *Servicio de Cátedra Ambulante* del Ministerio de Fomento; la *Sección de Perfeccionamiento Obrero y Acción Social* del Instituto Nacional de Psicotecnia; las *oficinas-laboratorio* del Ministerio de Economía Nacional; el *Laboratorio de Investigación de Óptica y Mecánica de Precisión* del Ministerio de la Guerra; el *Instituto Nacional de Ampliación de Estudios e Investigaciones Industriales;* la *Junta Nacional de Bibliografía y Tecnología científicas;* el *Centro de Perfeccionamiento Obrero y Oficina Central de Documentación Profesional;* la *Junta Constructora de la Ciudad Universitaria de Madrid,* etc. Relación incompleta pero suficiente para vislumbrar el esfuerzo institucional puesto en marcha durante el primer tercio del siglo XX para modernizar el país.

A todo esto hay que añadir las acciones emprendidas por iniciativa privada, tanto en el terreno científico y técnico como en el docente. En este último, las actividades desarrolladas, más que al margen de la Junta, fueron en contra. Es donde se manifiestan más ácremente las versiones contrapuestas sobre el individuo y la sociedad: frente al pretendido laicismo institucionista, proyectado en y desde los centros afines, como fue la JAE, se plantó la versión de una sociedad que por encima de todo había de ser católica, es más, que a través de su catolicidad habría de alcanzar los más nobles fines, entre ellos la formación científica. No se trataba de un nuevo dilema nacional, era la evidencia, otra vez, de que aún no estaba resuelto el secular enfrentamiento entre una España tachada, sucesivamente y por motivos similares, de erasmista, novatora, jansenista, volteriana, krausista, institucionista y una España defensora de la fe, atributo gloriosamente ganado y revalidado en batallas memorables. Este es el transfondo básico de los obstáculos a remover por la JAE que subyace en algunas dificultades ya apuntadas y que puede resumirse en las palabras del P. Herrera Oria (luego Cardenal) en su *Historia de la Educación Española* dedicada «A la Santa memoria de los educadores mártires durante la gran Cruzada española»: «Lo que no admite duda y fue como típico de la antigua educación española, es su carácter profundamente religioso y moral; es decir: que fue una educación asentada en la Teología Católica. Dios quiera que este libro sirva para restaurar el antiguo espíritu español, que tan óptimos frutos produjo en la educación de las juventudes que forjaron nuestro Imperio». Para afirmar después, no sin fundadas razones, que «la Institución Libre de Enseñanza ha sido en España la gran enemiga de la educación católica». En esa *Historia* puede seguirse con detalle las múltiples acciones educativas emprendidas desde la enseñanza confesional en los niveles primario y secundario, así como en la formación de maestros.

La creacion de centros de enseñanza privados fue el medio más prodigado para incorporar la formación religiosa a los programas generales de educación. De características semejantes, aunque afectado a un número más reducido de alumnos, fueron los *Patronatos benéfico-docentes* que desde mediados del XIX se crearon en muchos municipios con el fin de atender a los más necesitados y donde las enseñanzas impartidas habían de estar acordes con el espíritu del benefactor.

Agotada la Dictadura primoriverista y en los inicios del Gobierno Berenguer se constituyó la FAE (Federación de Amigos de la Enseñanza), representante de las órdenes religiosas docentes que junto con la Federación de Maestros Católicos del Magisterio oficial y la Confederación Nacional de Padres de Familia, tuvieron como guía la Encíclica de Pío XI sobre educación cristiana y como motivo de agravio comparativo las instituciones dependientes de la JAE, en particular en los Institutos Escuela, las Residencias de Estudiantes y la Escuela Superior de Magisterio, muy afín a los planteamientos institucionistas.

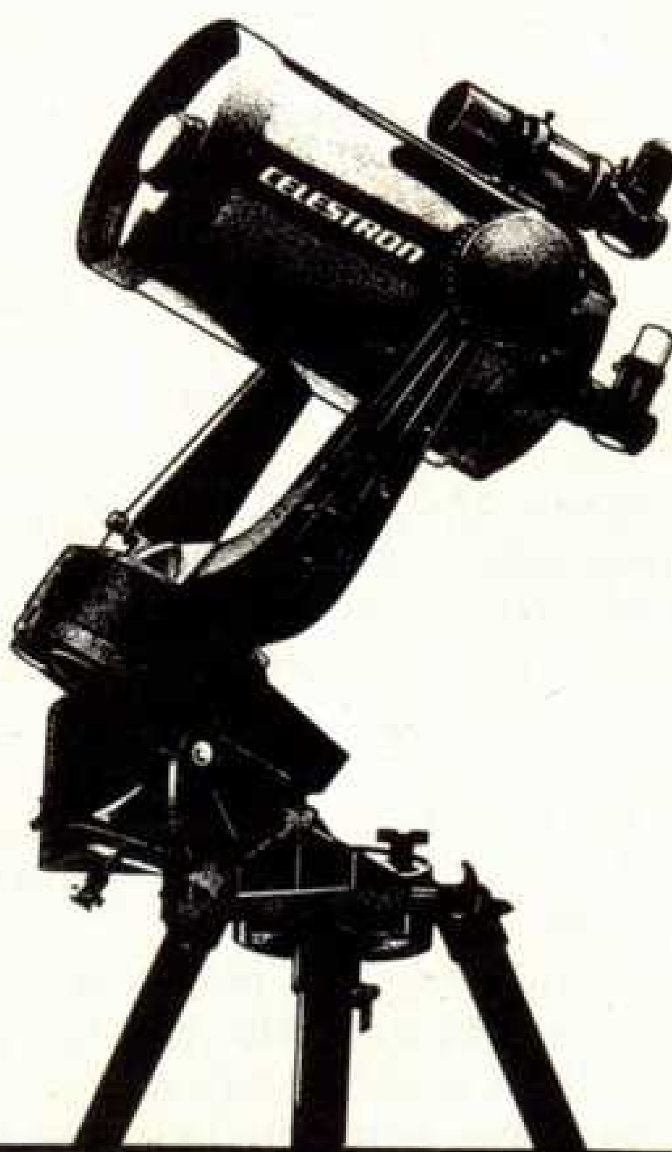
La FAE creada por Su Eminencia el Cardenal Primado, tuvo como órgano de comunicación pública la revista *Atenas,* dirigida por el P. Domingo Lázaro, director durante muchos años del Colegio del Pilar de Madrid. Desde esta revista y otras publicaciones *(Minerva, El Debate, El Heraldo, La Libertad)* y a propósito de la reforma de la segunda enseñanza, manifestaron su desacuerdo contra lo que consideraron privilegios de la JAE. En 1930 presentaron al ministro Tormo un documento alternativo a la reforma oficial que desató una intensa campaña periodística (fue portavoz de la FAE Rodríguez San Pedro, otro ministro maurista que estuvo a punto de paralizar las actividades de la JAE a poco de crearse). Para mediar en este asunto se nombró una Comisión Especial de Consejeros de Instrucción Pública formada por Cabrera y Gascón Marín, para la Universidad; Barrigón y el P. Clemente Martínez, para la segunda enseñanza. El inmediato advenimiento de la República acabó con la discusión, aunque, por supuesto, no con el descontento. Si antes era uno el Instituto Escuela de Madrid, objeto preferente de las quejas, con la expulsión de los jesuitas y la normativa republicana sobre centros religiosos ya hemos visto que hubo centros con la misma denominación y características en otras ciudades españolas.

La FAE estableció una Escuela Superior de Educación para la formación de maestros y profesores, de la que fue propulsor entusiasta el P. Poveda, fundador de la Institución Teresiana; el Grupo escolar «Menéndez Pelayo» –equiparable al «Cervantes»– dirigido por Isidro Almazán; organizó las Semanas de la FAE, donde se impartían cursos y conferencias en las que tomaron parte, entre otros, Herrera Oria, José Pemartín, Devaud, Rufino Blanco; el Centro Universitario femenino de la calle Mayor de Madrid; tuvo que ver con el Instituto Católico de Artes e Industrias y con las Escuelas Profesionales Obreras, ambos dirigidos por el P. José Pérez del Pulgar; envió miembros a congresos internacionales, a estudiar al extranjero o a visitar centros docentes; editó publicaciones sobre sus actividades y otras alertando del peligro republicano, tales como *Táctica masónica y Masonería, Los hijos del Pueblo, Alerta ante la escuela única,* donde se comentan obras consideradas carne para inquisidores *(Cómo se forja un pueblo,* de Rodolfo Llopis; *La oración del incrédulo,* de Luis de Zulueta); participó en la fundación del Obispo de Madrid, Leopoldo Eijo Garay, llamada *Los Cruzados de la Enseñanza,* difundiendo folletos, hojas informativas y propaganda en teatros por toda España la defensa de los colegios católicos.

Por último, completaba este amplio programa la atención al estudiante fuera de los centros docentes. La FAE contó con la adhesión, entre otras muchas, de la Residencia para alumnas de Escuela Normal y Universidad, la Residencia de estudios normalistas «Divino Maestro» y la Residencia de Estudiantes Cardenal Cisneros, todas ellas en Madrid, competidoras, por tanto, de la Residencia de los Altos de Hipódromo y de otros sistemas de alojamiento considerados como un peligro para la formación religiosa, moral y social de los estudiantes. Aparte de las pensiones o casas de patrona, mal vistas por los promotores de residencias católicas solían anunciarse en Madrid «internados dirigidos por sacerdotes», en los que por lo visto el «sacerdote» o no era muy virtuoso o como se lee en un folleto de la Residencia Cardenal Cisneros «ni siquiera convive con los muchachos, y hace bien, por respeto a su dignidad».

Para más información:

- Abad, F., *Diccionario de lingüística de la Escuela Española,* Introducción, Ed. Gredos, Madrid, 1986.
- Crispin, J., *Oxford y Cambridge en Madrid. La Residencia de Estudiantes (1910-1936) y su entorno cultural,* La isla de los ratones, Santander, 1981.
- Gamero Merino, C., *José Castillejo y la Junta para Ampliación de Estudios,* Tesis doctoral inédita, 1986 Universidad de Barcelona.
- Castillejo, J., *Guerra de ideas en España,* Revista de Occidente, Madrid, 1976, 1.ª edición inglesa, 1937.
- Castro, A., *De la España que aún no conocía,* Editorial Finisterre, México, 1972.
- Herrera Oria, E., *Historia de la Educación Española,* Editorial Veritas, Madrid, 1941.
- *Homenaje a Alberto Jiménez Fraud en el centenario de su nacimiento (1883-1983).* Secretaría de Estado de Universidades e Investigaciones, MEC, 1983.
- Laporta, F.; Solana, J.; Ruiz, A.; Zapatero, V., *La Junta para la Ampliación de Estudios,* Fundación March, Inédito, 1980.
- Moreno González, A., *Evolución de la física en España desde la Ilustración hasta 1900,* Tesis doctoral inédita. Universidad Autónoma de Madrid, 1985.
- *Poesía,* Número monográfico dedicado a la Residencia de Estudiantes, números, 18, 19. Ministerio de Cultura, 1978.
- «Institución Libre de Enseñanza 1876-1976», *Cuadernos de Pedagogía,* n.º 22, octubre 1976.
- Sáenz de la Calzada, M., *La Residencia de Estudiantes,* CSIC, Madrid, 1986.
- Subirà, J., *Una gran obra de cultura patria. La Junta de Ampliación de Estudios,* Revista *Nuestro tiempo,* enero, abril, mayo, Madrid, 1924.
- *Un ensayo pedagógico. El Instituto-Escuela de Segunda Enseñanza de Madrid,* JAE, Madrid, 1925.
- Xirau, J., *Manuel B. Cassio y la educación en España,* Editorial Ariel, México, 1945.
- *50 años de investigación en física y química en el edificio Rockefeller de Madrid (1932-1982),* CSIC, Madrid, 1982.


CELESTRON

CELESTRON®

LA JOYA DE LOS TELESCOPIOS CON LAS CARACTERISTICAS MAS SOBRESALIENTES DE LAS GEMAS PRECIOSAS



DIAMANTE, en talla brillante.

Dureza en su constitución y máximo aprovechamiento de sus múltiples facetas. CALIDAD. PRECISION.

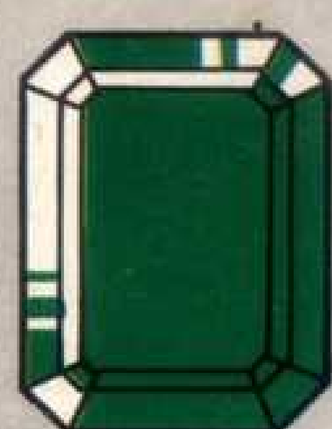


PRISMATICO "GIGANTE" 11x80

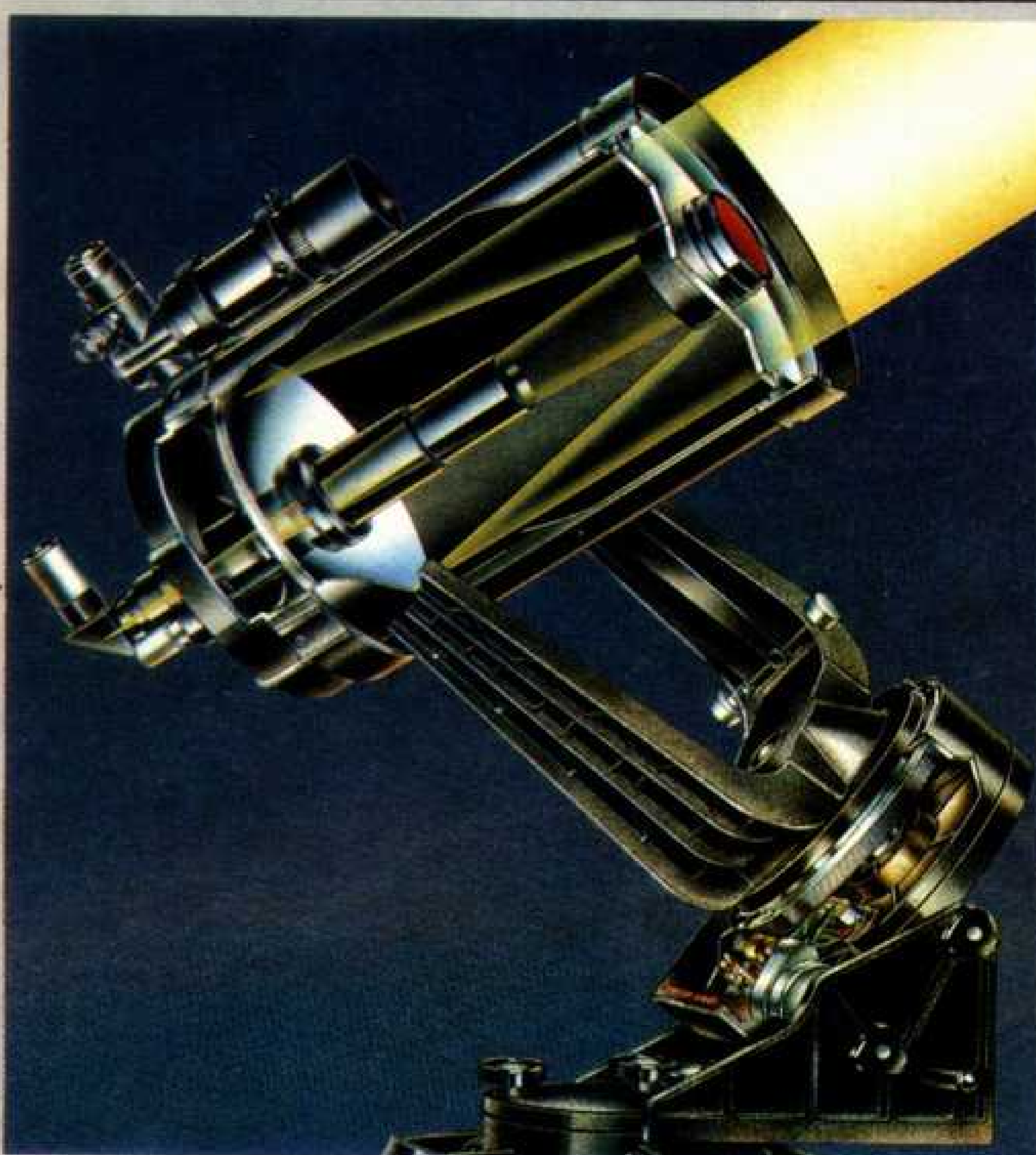


SPOTTING SCOPE C90





ESMERALDA
Elegancia y belleza de líneas





REFRACTOR SUPER POLARIS C102





RUBÍ
Fuego y deseo por descubrir las maravillas del UNIVERSO



REFLECTOR TIPO NEWTON C6





ZAFIRO
Observación placentera, relajada







SUPER POLARIS C8





PERLA NEGRA
la más cotizada entre las perlas.

ULTIMA NOVEDAD

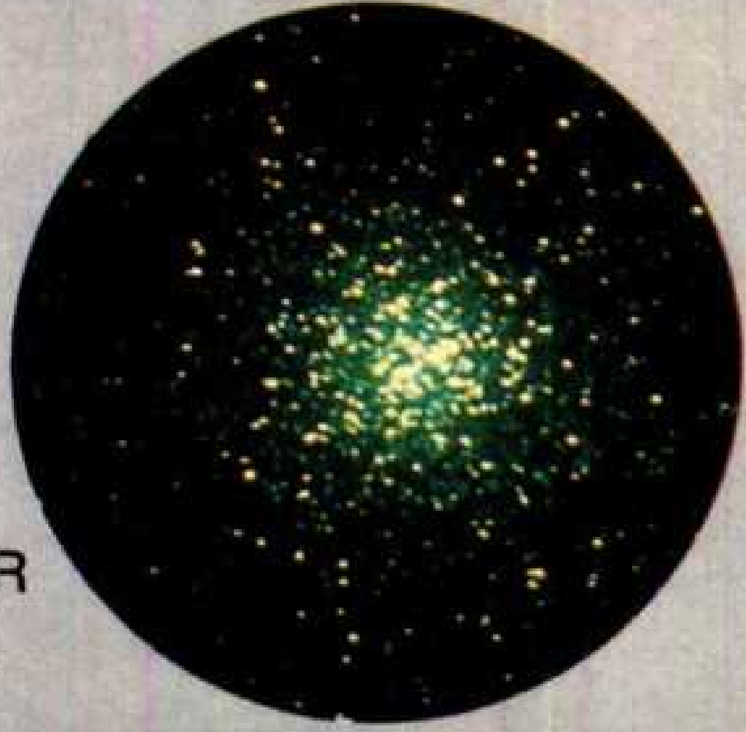
COMPUTER 8000

CELESTRON® color NEGRO





SUPER C8 PLUS





EEUU

IMPORTADOR Y DISTRIBUIDOR PARA ESPAÑA

MICROCIENCIA, S.A.

BURDEOS, 22-24
TEL. (93) 250 58 56 / 55 - TELEX 54 785 MICCE
08029 BARCELONA

KAIKO: la exploración de las fosas de Japón

por Siegfried Lallemant,
Serge Lallemand,
Laurent Jolivet
y Philippe Huchon



Hace algo más de un año finalizaba la campaña oceanográfica franco-japonesa Kaiko (en japonés, «fosa marina») y, con ella, una extraordinaria aventura científica. Por primera vez en el mundo, un sumergible ligero, habitado y autónomo, el Nautile, permitió la inmersión a 6000 metros en las profundidades de las fosas de Japón para descubrir uno de los fenómenos geológicos más importantes de nuestro planeta: la subducción, que se manifiesta por el paso de una placa litosférica bajo otra. Para el equipo de Kaiko, ha llegado la hora de los resultados y éstos demuestran ser excepcionales. Así, la subducción, fenómeno glotón, toma en un solo bocado enormes volcanes después de haberlos cortado en rebanadas, digiere más lentamente cadenas de montañas enteras, roe Japón sin dejar migajas, a la vez que prensa sedimentos empapados de agua que dejan escapar un verdadero elixir de vida. Finalmente, y más allá de una cosecha de resultados que harán época en la historia del estudio de la subducción, Kaiko está abriendo, quizás, el camino a la previsión de un terrible seísmo que los japoneses esperan de un momento a otro en la región de Tokai, una de las más pobladas del archipiélago.



Figura 1. Con el proyecto Kaiko ha empezado la utilización del sumergible autónomo capaz de llegar hasta 6000 metros de profundidad: el Nautile, *realizado por el IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation des mers). La esfera habitable que se ve en la fotografía, construida en aleación de titanio, permitió limitar su peso a 18 toneladas, asegurándole así una gran manejabilidad en el fondo. Tres personas la ocuparon en cada inmersión: el piloto, el navegante y el observador científico. Gracias a dos brazos telemanipulados, pudieron tomar muestras de rocas, de agua y de fauna, así como medir de manera continua la temperatura del agua o de los sedimentos. En 1985, el* Nautile, *a bordo del buque oceanográfico* Nadir, *partió hacia las fosas del Japón con el fin de descubrir uno de los fenómenos geológicos más importantes de nuestro planeta: la subducción. (Fotos IFREMER.)*

El Nautile, hacia el descubrimiento del legendario siluro.

Siegfried Lallemant es profesor agregado en la Escuela normal superior, donde **Serge Lallemand** prepara su tesis, y **Laurent Jolivet** es profesor asistente en el departamento de Geología. **Philippe Huchon**, investigador del CNRS, trabaja en el departamento de geología de la Escuela normal superior. Todos ellos embarcaron a bordo de los buques oceanográficos *Jean Charcot y Nadir* en las campañas Kaiko y trabajan en la evaluación de los datos recogidos.

Hace unos veinte años, los científicos presenciaron una auténtica revolución con la aparición de la técnica de las placas. Con esta teoría, los geólogos descubrían que la superficie de la Tierra estaba formada por grandes placas en permanente movimiento, placas que se originaban a nivel de dorsales en medio de los océanos, para desaparecer a lo largo de las grandes fosas oceánicas. Hasta entonces, los principales esfuerzos de observación y de medidas en las ciencias de la Tierra se habían efectuado desde tierra firme. Los geólogos empezaban a ver claramente que había llegado el momento de dejar el suelo y dirigirse hacia el fondo de los océanos que cubren las dos terceras partes de la superficie terrestre. Utilizando todos los medios tradicionalmente disponibles a bordo de los buques de superficie, fueron sucediéndose las campañas oceanográficas. Sondeos profundos, dragados, fotografías, sismología, magnetismo, gravimetría, ecosondas: se pusieron en práctica todas las técnicas oceanológicas. Pero si estas técnicas contribuyeron grandemente a hacer comprender la historia de la corteza oceánica y a reforzar la teoría de la tectónica de las placas, en cambio era imposible identificar objetos geológicos de tamaño inferior a cien metros.

La exploración cuidadosa de los grandes fondos oceánicos por sumergibles habitados estaba convirtiéndose en una necesidad. El contacto directo del geólogo con el terreno, verdadera regla de oro en tierra firme, se estaba revelando fundamental en las profundidades oceánicas.

Francia y Estados Unidos fueron los principales países en lanzarse a la aventura. Es cierto que Francia poseía ya una larga experiencia en sumergibles, experiencia iniciada en 1949 con el primer ensayo de inmersión del batiscafo *Archimède* mar adentro de Dakar. No obstante, hubo que esperar hasta 1973 para que pudieran hacerse los primeros grandes descubrimientos desde un sumergible, logrados con la exploración de las dorsales oceánicas durante la operación FAMOUS (French American Mid Ocean Undesea Survey). ¿Por qué estos veinticuatro años entre el nacimiento de los sumergibles y los grandes descubrimientos ligados a ellos? Es cierto que, entre el primer batiscafo y los sumergibles modernos –como el platillo *Cyana* (3000 metros), el submarino *Alvin* (4000 metros), el *Nautile* (6000 metros) o el *Sea-Cliff* (6000 metros, de la marina norteamericana)– la movilidad, la visibilidad y el rendimiento han aumentado considerablemente. Sin embargo, es poco probable que los grandes descubrimientos hubieran llegado a producirse sin los inmensos progresos hechos en el posicionamiento de las máquinas y en la localización de los blancos. Para ser eficaces, los sumergibles ya no podían hacer sus inmersiones al azar sino que, por el contrario, debían ser guiados hacia metas precisas, previamente identificadas.[1] De esta manera, todas las observaciones, todas las muestras y todas las medidas correspondían a un contexto geográfico y geológico preciso. Durante la campaña francojaponesa Kaiko que se desarrolló en los meses de verano de 1984 y 1985 en aguas del archipiélago japonés, las condiciones de localización fueron óptimas, como atestiguan la importancia de los primeros resultados, tema de este artículo.

El objeto de la misión era estudiar, en inmersión profunda y gracias al sumergible *Nautile* (fig. 1), el fenómeno de subducción que hace desaparecer a una velocidad de algunos centímetros por año las placas oceánicas bajo los continentes. Esta campaña fue el resultado de casi diez años de negociaciones, de preparación técnica y de numerosos intercambios entre geólogos y geofísicos de ambos países.

Kaiko es el fruto de una cooperación entre el Centre national de la recherche scientifique (CNRS) y el Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) por una parte, y el Monbu-Sho (ministerio de Educación, Ciencia y Cultura japonés), por otra.

La subducción y el siluro

Para comprender mejor qué es la subducción, hay que recordar que la superficie de la Tierra está constituida por un mosaico de placas móviles. Estas placas se separan a nivel de las dorsales llamadas medioceánicas, verdadera cadena de montañas submarinas que serpentean en medio de los océanos a lo largo de más de 60 000 kilómetros. A partir de estas dorsales se desparrama la lava en fusión, repentinamente enfriada en contacto con el agua del mar, y constituye la naciente corteza oceánica. De esta manera se crean a lo largo de las dorsales un promedio de 3,5 kilómetros cuadrados anuales de nueva corteza oceánica. Ahora bien, como el volumen de la tierra sigue siendo constante, es necesario que esta creación de nuevos fondos oceánicos quede simultáneamente compensada por la destrucción en alguna parte de una cantidad equivalente de corteza oceánica. La absorción de esta enorme cantidad de fondos oceánicos sólo puede considerarse en las grandes fosas situadas en el perímetro del océano Pacífico y en el norte del océano Índico. Es ahí donde se produce el fenómeno de subducción, que se traduce en la desaparición, a una velocidad de algunos centímetros por año, de las placas oceánicas bajo los continentes. Estas imbricaciones de placas provocan regularmente grandes temblores de tierra y erupciones volcánicas explosivas muy peligrosas, especialmente en Japón. Son fenómenos naturales, que suelen tener lugar en zonas de fuerte concentración urbana, y amenazan con periodicidad y desde siempre la vida de los japoneses. En el pasado, éstos los atribuían a los sobresaltos de un legendario siluro, «El Namazu», sobre cuyo dorso reposaba Japón. Por tanto, fue algo así como ir al encuentro de este misterioso siluro lo que hicieron los científicos durante el verano de 1985.

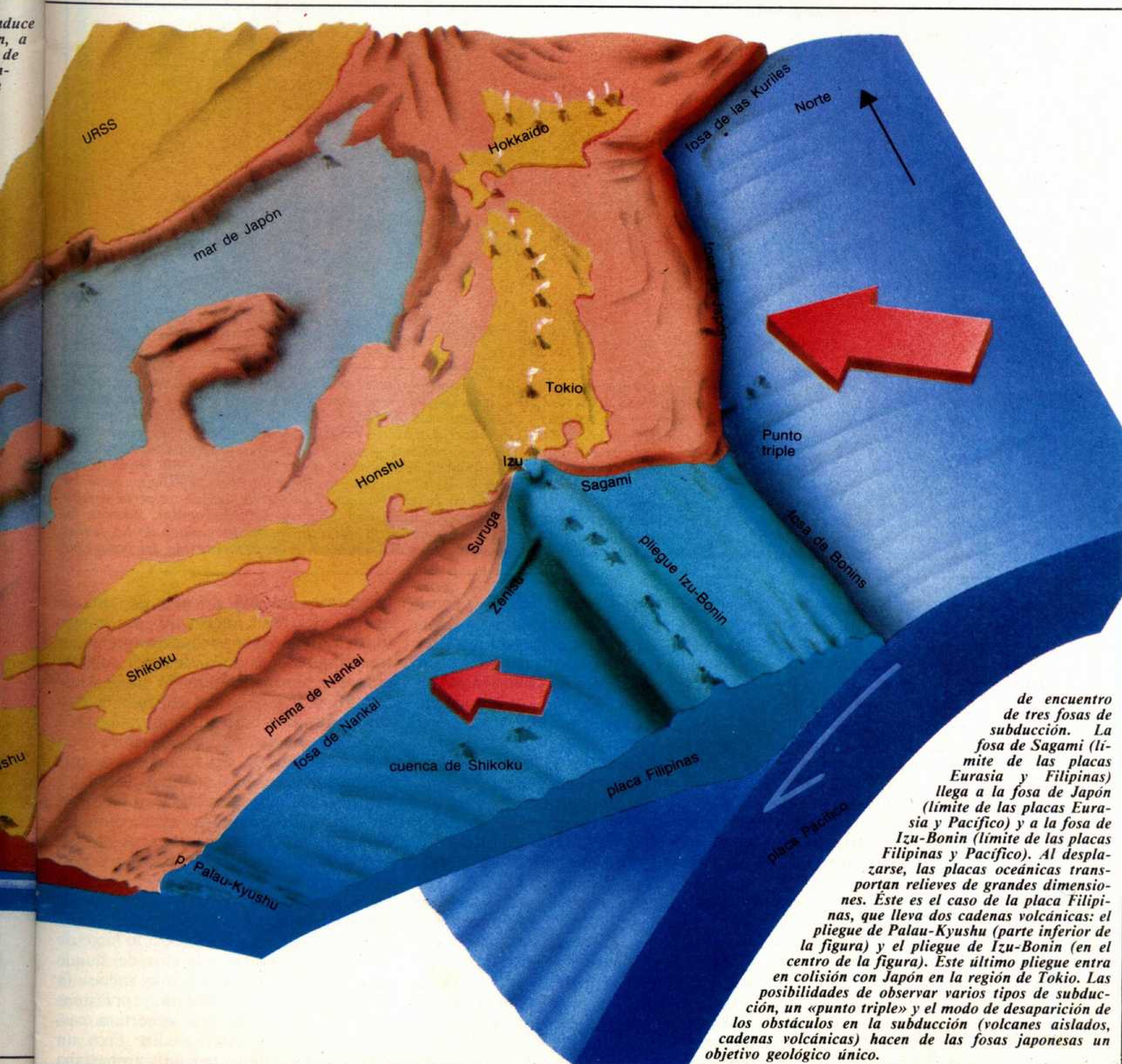
Hasta aquel momento, las campanas oceanográficas habían permitido, gracias al sumergible norteamericano *Alvin* o al platillo francés *Cyana*, observar detalladamente la formación de la corteza oceánica en el eje de las dorsales (proyecto FAMOUS), así como su desaparición en una zona de subducción anormalmente poco profunda (menos



Figura 2. El fenómeno de subducción se tradu la mayoría de las veces en la desaparición, velocidad de algunos centímetros por año, de las placas oceánicas bajo las placas continentales. Estas imbricaciones de placas povocan regularmente grandes temblores de tierra y erupciones volcánicas explosivas. Por su situación, Japón permite estudiar, en un radio limitado, los dos grandes tipos existentes de subducción: por una parte, la subducción de la placa Filipinas, joven y ligera (en la figura, color azul verdoso) bajo el sur de Japón (en la figura, color marrón) en la fosa de Nankai, de unos 4000 metros; y por otra, la subducción de la placa Pacífico, vieja y pesada (en la figura, color azul oscuro) bajo el conjunto constituido por las placas Filipinas y Eurasia (que soporta a japón) en la fosa de Japón, de unos 7500 metros de profundidad. Estos dos sistemas de subducción se encuentran en un «punto triple», situado en alta mar, frente a Tokio, en el que convergen las tres placas. Esta unión triple es el único ejemplo que se conoce

de 3000 metros), lo que la hacía accesible al platillo francés *Cyana* (campaña Heat en la fosa helénica). Pero debido a la profundidad de las fosas, nunca se había podido observar detalladamente una zona de subducción antigua, con una profundidad más típica. La construcción por parte del IFREMER del primer sumergible ligero y manejable, capaz de inmersiones a 6000 metros, iba a permitir que se llenara esta laguna.

La zona de subducción, el lugar donde la placa Pacífico se sumerge bajo el archipiélago japonés, es ejemplar por diversos motivos. Desde hace 100 millones de años, la placa Pacífico se sumerge bajo esta porción del borde asiático a una velocidad media de 10 centímetros por año. Las características de este fenómeno son tales, que las fosas japonesas constituyen un objetivo geológico absolutamente único. En efecto, la manera en que se hunde una placa oceánica bajo una placa continental depende de las características mecánicas de las placas presentes y de la zona de contacto. Habitualmente, se distingue una subducción llamada de tipo chileno, en la que una placa oceánica joven y ligera desaparece, con un ángulo de inmersión pequeño, bajo una orilla continental comprimida en la que se acumulan deformaciones. En cambio, en el caso de una subducción llamada de tipo Marianas, una placa vieja y pesada desaparece, con un ángulo de inmersión mucho mayor, bajo una orilla continental no comprimida y, por el contrario, en vías de hundimiento progresivo. Ahora bien, Japón, por su situación, permite estudiar en un radio limitado estos dos grandes tipos de subducción. Presenta dos sistemas superpuestos: el primero es el de la placa Filipinas bajo el sur de Japón, en la fosa de Nankai, con una profundidad de unos 4000 metros y que, en una primera aproximación, puede clasificarse como de tipo chileno; el segundo es el de la desaparición de la placa pacífico bajo el primer conjunto constituido por las placas Filipinas y Eurasia (que soporta a Japón); parece pertenecer a un tipo muy próximo al de las Marianas (fig. 2). Ambos dispositivos no tienen igual importancia, según demuestran las dimensiones



de encuentro de tres fosas de subducción. La fosa de Sagami (límite de las placas Eurasia y Filipinas) llega a la fosa de Japón (límite de las placas Eurasia y Pacífico) y a la fosa de Izu-Bonin (límite de las placas Filipinas y Pacífico). Al desplazarse, las placas oceánicas transportan relieves de grandes dimensiones. Éste es el caso de la placa Filipinas, que lleva dos cadenas volcánicas: el pliegue de Palau-Kyushu (parte inferior de la figura) y el pliegue de Izu-Bonin (en el centro de la figura). Este último pliegue entra en colisión con Japón en la región de Tokio. Las posibilidades de observar varios tipos de subducción, un «punto triple» y el modo de desaparición de los obstáculos en la subducción (volcanes aislados, cadenas volcánicas) hacen de las fosas japonesas un objetivo geológico único.

(1) X. Le Pichon, «L'utilisation des submersibles pour l'exploration des grandes profondeurs», Conferencia internacional, diciembre 1982, en: Pénétration sous-marine, ATMA, p. 107, 1982.

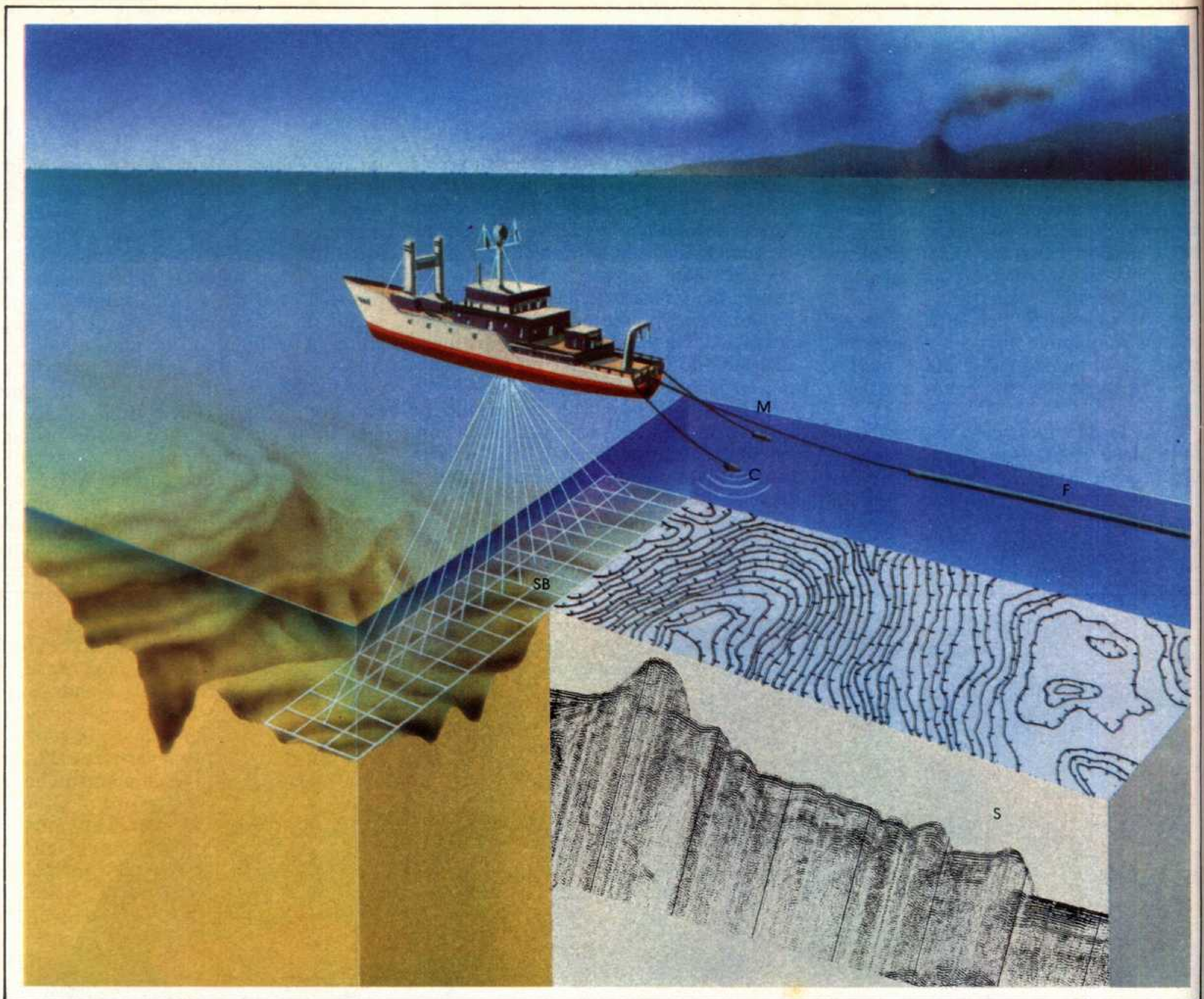


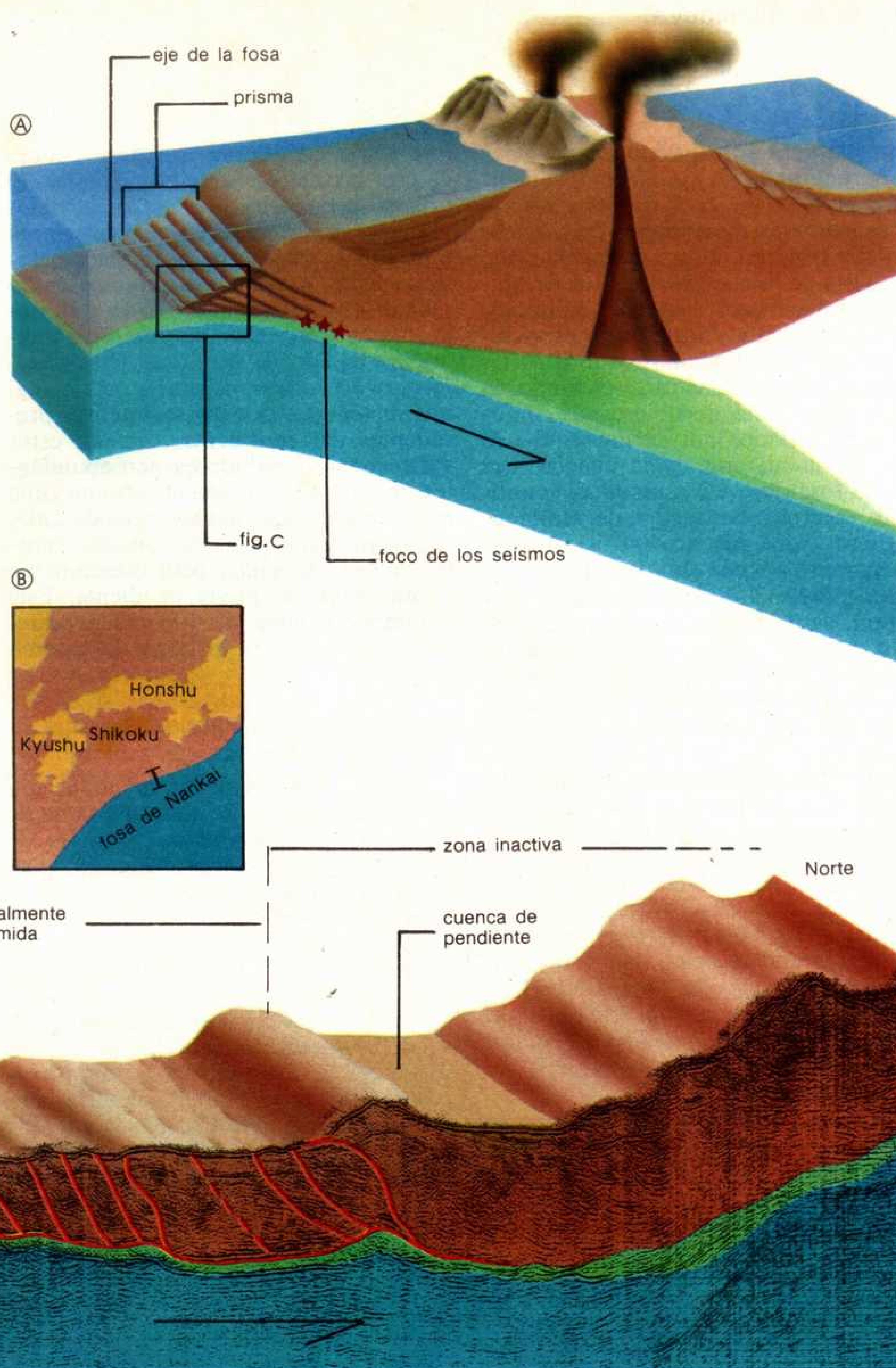
Figura 3. La primera fase del programa Kaiko se desarrolló de junio a agosto de 1984; permitió obtener una verdadera imagen detallada, en tres dimensiones, de las fosas de subducción. El buque oceanográfico **Jean Charcot**, *cuya posición se conocía continuamente con una posible diferencia de sólo 100 metros, estaba equipado con un sondeador multihaz «Seabeam» (en la figura SB), con el que podía obtenerse la cartografía del fondo del océano. El «Seabeam» emite simultáneamente dieciséis haces acústicos, estrechos y en abanico, sobre una línea perpendicular al eje del buque. Los ecos recibidos por los sensores situados bajo el casco permiten dibujar en tiempo real un mapa topográfico en curvas de nivel del fondo marino, como puede verse en la figura. Por otra parte, el navío arrastraba tras de sí dos cañones de agua (en la figura, C) que explosionaban cada treinta segundos. Las ondas acústicas propagadas a través de las distintas capas de sedimentos se reflejan hasta los hidrófonos colocados en el interior de la barra (en la figura, F) de 250 metros de longitud. De esta manera va desarrollándose un perfil sísmico de reflexión (en la figura, S), representado aquí en el plano vertical y que da la tercera dimensión a las medidas recogidas. Además, un magnetómetro (en la figura, M) arrastrado detrás del buque medía el campo magnético y permitía hacer un mapa magnético de los fondos marinos. El conjunto de los datos geofísicos obtenidos hacía que pudieran elegirse con precisión los futuros lugares de inmersión del sumergible* **Nautile.**

de las placas presentes y su velocidad relativa a lo largo de las dos fronteras. El movimiento relativo Pacífico-Eurasia es del orden de 9 centímetros por año; el de la placa Filipinas en relación a la Eurasia es de 3 a 4 centímetros por año. Estos dos sistemas de subducción se encuentran en un «punto triple», situado en aguas de Tokio, en el que convergen las tres placas.

Al desplazarse, las placas oceánicas transportan relieves de gran tamaño, como volcanes submarinos, que son otros tantos eventuales obstáculos a la subducción. Así es como dos volcanes llevados por la placa Pacífico llegan hoy a la fosa de Japón: se trata de los montes Kashima, al sur, y Erimo, al norte. Formados en las proximidades de una dorsal medioceánica hace 120 millones de años, estos dos volcanes, comparables por su tamaño a los de la cadena de Hawai, han derivado con la placa Pacífico y hoy están a punto de hundirse bajo la Eurasia. De igual modo, la placa Filipinas lleva también dos cadenas volcánicas importantes: el pliegue de Palau-Kyushu, que entra en contacto con la orilla continental de Japón al sur de Kyushu, y el pliegue Izu-Bonin, constituido por volcanes originados en el fenómeno de subducción de la placa Pacífico. Este último pliegue entra en colisión con Japón en la región de Tokio (fig. 2). ¿qué otro país podía ser más favorable que Japón al estudio de la subducción? La variedad de los posibles objetivos científicos (distintos tipos de subducción, ejemplos típicos de obstáculos a la subducción) hace de este país la zona ideal para emprender, mediante una observación directa, el estudio en todas sus dimensiones de este fenómeno geológico.

La originalidad del programa Kaiko está ligada, en gran parte, a la complementariedad de las distintas técnicas puestas en práctica. La primera fase del programa, llevada a cabo de junio a agosto de 1984, permitió, en primer lugar, obtener una verdadera imagen en tres dimensiones de las fosas de subducción que bordean Japón. El buque oceanográfico *Jean Charcot* utilizado en esta campaña lleva bajo su casco una sonda multihaz «seabeam», que permite obtener la cartografía del fondo del océano en una banda cuya anchura es igual a las tres cuartas partes de la profundidad del agua. El «Seabeam» emite simultáneamente dieciséis haces acústicos en forma de abanico sobre una línea perpendicular al eje del buque. El tratamiento en tiempo real de los ecos recibidos da un mapa topográfico del fondo marino en curvas de nivel, a lo largo de una banda paralela a la ruta del buque (fig. 3). Una navegación muy precisa (a unos 100 m), en líneas muy próximas entre sí, garantiza una cobertura casi total de la zona de estudio. Pero un mapa de los fondos marinos no bastaba

Figura 4. Las primeras inmersiones del Nautile *tuvieron lugar en la fosa de Nankai, donde la cuenca oceánica de Shikoku, perteneciente a la placa Filipinas, se hunde hacia el Norte bajo el archipiélago japonés. La corteza oceánica (en azul verdoso) que constituye el fondo de esta cuenca está recubierta de fangos muy finos que se han depositado lentamente (en la figura, en verde). Por otra parte, la fosa de Nankai recibe del continente enormes cantidades de sedimentos, denominados turbideces, que se depositan rápidamente en grosores considerables (en la figura, en marrón). Cuando ocurre el fenómeno de subducción, los sedimentos empapados de agua y arrancados a la placa que se sumerge en un movimiento de descenso se apilan formando un pliegue, al igual que las hojas de papel en un pasillo rodante se acumulan y arrugan cuando el pasillo desaparece. Es el modelo clásico de prisma de acreción ilustrado en esta figura (A). El perfil de reflexión sísmica representado aquí (C) ha permitido reconstruir la estructura y el funcionamiento del prisma de acreción de Nankai. Las turbideces (en marrón) se pliegan primero y luego se empilan, mientras que la mayor parte de los fangos finos (en verde) que recubren la corteza oceánica se hunde lejos bajo el prisma. Por tanto, hay una superficie denominada nivel de desprendimiento (en rojo), en la que la parte superficial de los sedimentos comprimidos contra la margen continental se desolidariza de los sedimentos más profundos que entran en subducción. El agua que encierran las turbideces plegadas y comprimidas tiende a escaparse hacia la superficie a través de las fracturas existentes (en rojo). Los fluidos que circulan por los sedimentos se cargan de hidrocarburos ligeros, origen de la existencia de las colonias de animales halladas en los fondos marinos hasta profundidades de 5.961 metros.*



para determinar los blancos por estudiar en la inmersión. El método de reflexión sísmica empleado en la industria petrolera permite, desde hace mucho tiempo, obtener una imagen precisa de las capas superficiales de la Tierra. Utilizado aquí, dio una visión en corte de las estructuras geológicas con un grueso de uno a dos kilómetros. Además, una sonda de sedimentos permitió obtener un corte detallado de las primeras decenas de metros. Por último, un magnetómetro de protón arrastrado por el buque, así como un gravímetro colocado en el centro del navío, completaban la imaginería geofísica con mapas de anomalías de los campos magnéticos y de gravedad. Con todo ello se reunió una cartografía precisa en tres dimensiones de la estructura de la corteza oceánica de la placa que se sumergía. El conjunto de las medidas geofísicas (gravimetría, magnetismo, reflexión sísmica) debía de permitir la elección de los futuros lugares de inmersión del sumergible francés. Todo estaba listo para empezar la segunda fase del programa Kaiko durante el verano de 1985.

Con el proyecto Kaiko debía comenzar la utilización del nuevo sumergible, capaz de llegar a profundidades de 6000 metros, cuya construcción había emprendido el IFREMER. Denominado al principio *SM 97* por su capacidad para explorar el 97 % de los fondos submarinos, fue bautizado definitivamente con el nombre de *Nautile.* La esfera habitable, construida con una aleación de titanio, permitió limitar su peso a 18 toneladas, lo que le aseguraba una gran maniobrabilidad en el fondo.

En cada inmersión tomaron parte tres personas: el piloto, el navegante y el observador científico. Tenían a su disposición los dos brazos telemanipulados de la máquina que permitían tomar muestras de rocas, e instrumentos de toma de sedimentos o jeringas para aspirar agua. Finalmente, uno de los brazos iba equipado con un termómetro que permitía medir continuamente la temperatura del agua o del sedimento. Después de una serie de inmersiones de prueba efectuadas en la primavera de 1985 en la fosa de Puerto Rico, el *Nautile,* a bordo de su buque transportador *–el Nadir–* partió hacia las fosas de Japón, donde se dedicaron a la instalación de instrumentos de medida en el fondo. En el transcurso de la campaña, durante la octava inmersión, un fuerte vendaval azotó la zona de trabajo, por lo que fue imposible izar el sumergible a bordo del *Nadir.* Por esto, el *Nautile* –y sus pasajeros– hubieron de ser remolcados en superficie bajo la tempestad. Afortunadamente, los desperfectos fueron solamente materiales. Equipos técnicos franceses enviados rápidamente al lugar repararon las averías causadas por las olas, depués de lo cual la misión pudo proseguir.

Roído por la subducción, la superficie de Japón disminuye.

Gran planicie sobre un prisma de acreción

Las primeras inmersiones del *Nautile* tuvieron lugar en la fosa de Nankai (fig. 2),[2,3] donde la cuenca oceánica de Shikoku, perteneciente a la placa Filipinas, se hunde hacia el Norte, bajo el archipiélago japonés. Por una parte, la corteza oceánica que constituye el fondo de esta cuenca está recubierta de lodos finos, depositados muy lentamente a lo largo de la historia de la cuenca; por otra, la fosa de Nankai recibe del continente enormes cantidades de sedimentos producidos por erosión y arrastrados por avalanchas submarinas.

Estos sedimentos, denominados turbideces, se depositan muy rápidamente y en grosores considerables: hasta un grueso de más de 1000 metros durante un período de dos millones de años. ¿qué pasa con estos distintos sedimentos cuando tiene lugar el fenómeno de subducción? Los sedimentos empapados de agua, arrancados a la placa que se sumerge durante su movimiento de descenso, se van apilando formando un pliegue no volcánico en las proximidades de la fosa (fig. 4A), del mismo modo que las hojas de papel sobre un pasillo rodante se acumulan y se arrugan cuando el pasillo desaparece. Este pliegue constituye un apilado de sedimentos y es lo que los geólogos denominan, desde hace unos diez años, un prisma de acreción.

Discutida durante mucho tiempo la existencia en tales pliegues de movimientos tectónicos capaces de hacer que estos conjuntos de materiales se superpongan, quedó definitivamente establecida en 1981 en el transcurso de una campaña del buque de sondeo *Glomar challenger* en la base del prisma de acreción de Barbados (zona de subducción de las Antillas). En esta ocasión, un sondeo puso de manifiesto una serie de sedimentos fechados en el Mioceno (entre 27 y 7 MA), que recubrían terrenos más jóvenes, del Plioceno (entre 7 y 2 MA).

Gracias a la reflexión sísmica se ha podido reconstruir la estructura y el funcionamiento del prisma de acreción de Nankai (figs. 4B, 4C), comprobándose que las turbideces procendetes del continente, antes de apilarse se pliegan, mientras que la mayor parte de los lodos finos que recubren la corteza oceánica se hunde lejos, bajo el prisma. Por consiguiente, hay una superficie, llamada nivel de desprendimiento, a lo largo de la cual la parte superficial de los sedimentos comprimidos contra el margen continental se desolidariza de los sedimentos más profundos, que son los que entran en subducción. El desprendimiento se produce en capas sedimentarias impregnadas de agua, en las que la fricción y, por tanto, la resistencia al movimiento, son débiles.

La campaña Kaiko había de darnos una visión inédita en tres dimensiones de este prisma de acreción ejemplar. El prisma presentaba unas espectaculares variaciones de relieve, que relacionamos con la estructura de la placa oceánica. Ésta, a pesar de un escasísimo relieve aparente, está cortada por importantes fallas que, durante el hundimiento de aquélla delimitan unas plataformas de corteza oceánica más o menos recubiertas por los sedimentos procedentes del continente. Cuando estos sedimentos, o turbideces, son abundantes, se apilan y superponen en una zona muy amplia; en cambio, cuando tales sedimentos son raros, la zona de deformación es estrecha y pasa bruscamente a otra zona de fuerte pendiente. Este fenómeno explica las diferencias de relieve observados a lo largo del prisma de Nankai.

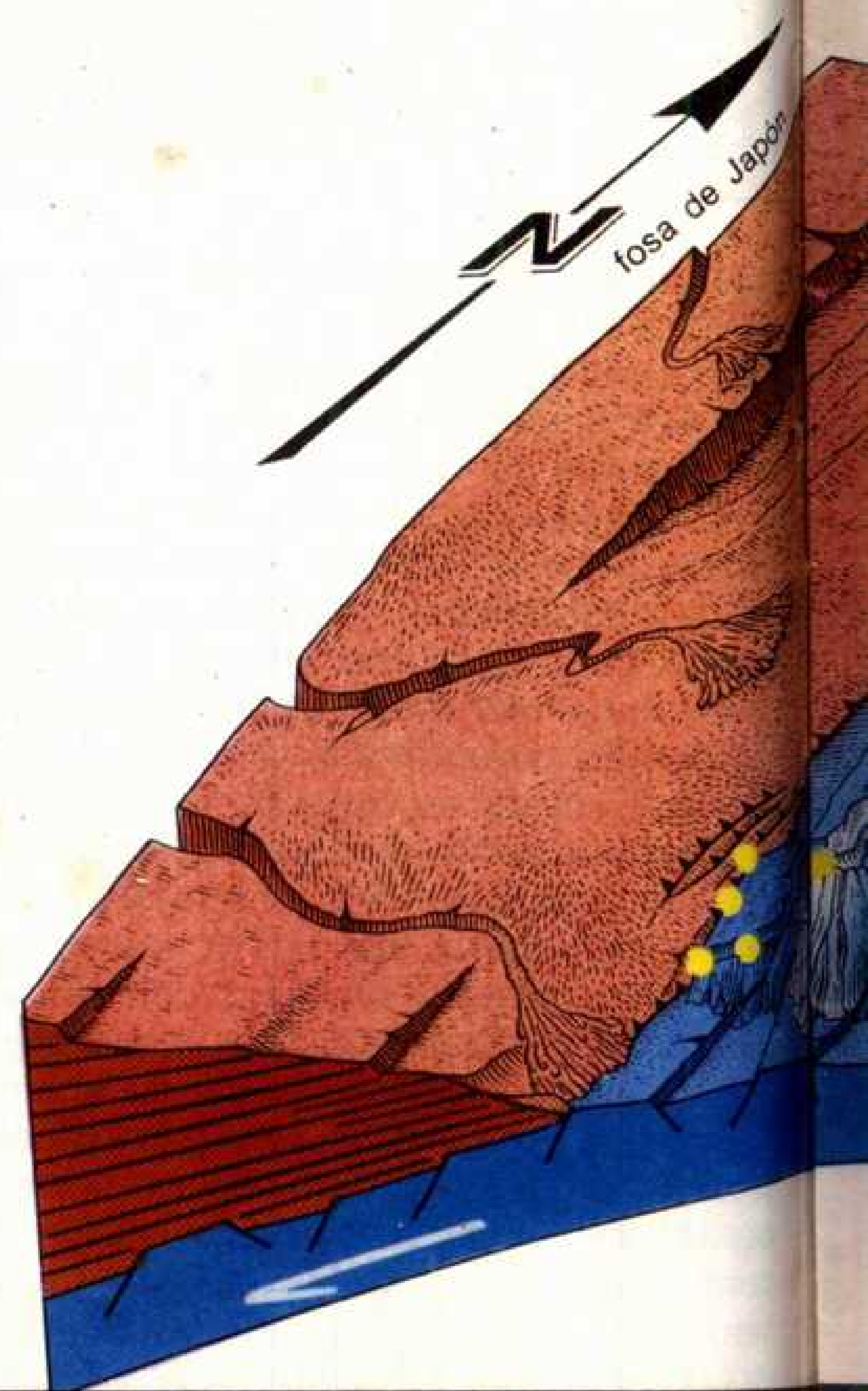
Japón, «roído» y digerido por la subducción

Pero el mecanismo de la subducción no se explica siempre con un prisma de acreción tan desarrollado como el de Nankai. Hemos comprobado que hay otro caso de subducción en el que la ribera continental va hundiéndose progresivamente. Es el caso de la fosa de Japón, de 7000 a 8000 metros de profundidad.

A raíz de las campañas del buque de sondeo *Glomar challenger,* que formaban parte del Proyecto de sondeos oceánicos profundos (DSDP) desarrollado de 1977 a 1982, nuestros conocimientos geológicos sobre la ribera continental de la fosa de Japón dieron un gran paso adelante y estuvimos en condiciones de reconstruir su historia a partir del Cretáceo superior, es decir, desde hace 100 millones de años. De manera especial, la existencia en el Paleógeno (55 y 30 MA) de un antiguo continente que emergía de las aguas situadas al noreste de Japón se puso de manifiesto gracias a los sondeos en la vertical de la ribera actual. Después de un período de erosión subaéreo, este contienente fue hundiéndose progresivamene unos tres kilómetros, a la vez que se cargaba de sedimentos más recientes. Por otra pate, el descubrimiento durante los sondeos del DSDP de rocas volcánicas cerca de este viejo contienente, fechadas en 23 MA, permite concluir que la fosa estaba situada en esta época a doscientos kilómetros más al Este que actualmente. Por esto, la vieja placa Pacífico, que se hunde en la fosa de Japón, parece haber limado el borde japonés. Dicho de otro modo: en esta región, la superficie de Japón ha disminuido mientras que la fosa de Japón progresaba doscientos kilómetros hacia el Oeste desde hace 23 millones de años. Este fenómeno de «roedura» del Japón, que los geólogos han bautizado con el nombre de «erosión tectónica» debía, sin embargo, ser confirmado. La ocasión se nos presentó durante la campaña preliminar de localización y más adelante, durante las inmersiones del *Nautile* en esta región (fig. 5).[4,5]

En efecto, el examen de los mapas «Seabeam» de aquel sector permitía seguir fácilmente las numerosas escarpaduras, cuya altura varía desde algunas decenas de metros hasta más de dos kilómetros, y relacionarlos con fallas o bien con cicatrices de desgarros, indicadoras de zonas de desprendimientos. La observación directa del fondo dejaba ver escarpaduras abruptas que se desprendían en la superficie de los sedimentos geológicamente «muy frescos». Ocurrió, incluso, que el *Nautile* no pudo posarse para tomar muestras de las rocas; tanta era la inestabilidad de las pendientes. A nuestro entender, estas observaciones se explican así: la inestabilidad del reborde de la margen continental provoca deslizamientos en masa de los sedimentos. Estos sedimentos quedan muy pronto atrapados en

Figura 5. Durante la campaña preliminar de localización, gracias entre otros, a los mapas «Seabeam», se pudo reconstruir la morfología de la fosa de Japón y de su unión con la fosa de las Kuriles. Esta morfología es la que muestra el presente esquema, sobre el que se indican las localizaciones de las inmersiones del Nautile. *En primer plano puede reconocerse el volcán Kashima, compuesto de dos bloques separados 1500 metros verticalmente, con el bloque más profundo hundido ya parcialmente bajo la ribera continental de Japón. Las inmersiones efectuadas sobre este volcán han permitido demostrar que se había fracturado recientemente al acercarse a la fosa, por el mismo mecanismo que provoca la fractura*



(2) X. Le Pichon, T. Iiyama *et al., C.R. Acad. Sci. Paris, 301,* 273 1985.
(3) X. Le Pichon, T. Iiyama *et al., Earth Planet, Sc. Lett.*, número especial, en prensa.
(4) J.P. Cadet, K. Kobayashi *et al., C.R. Acad. Sc. Paris, 301,* 287
(5) J.P. Cade, K. Kobayashi *et al., Earth Planet. Sc. Lett.*, número especial, en prensa.

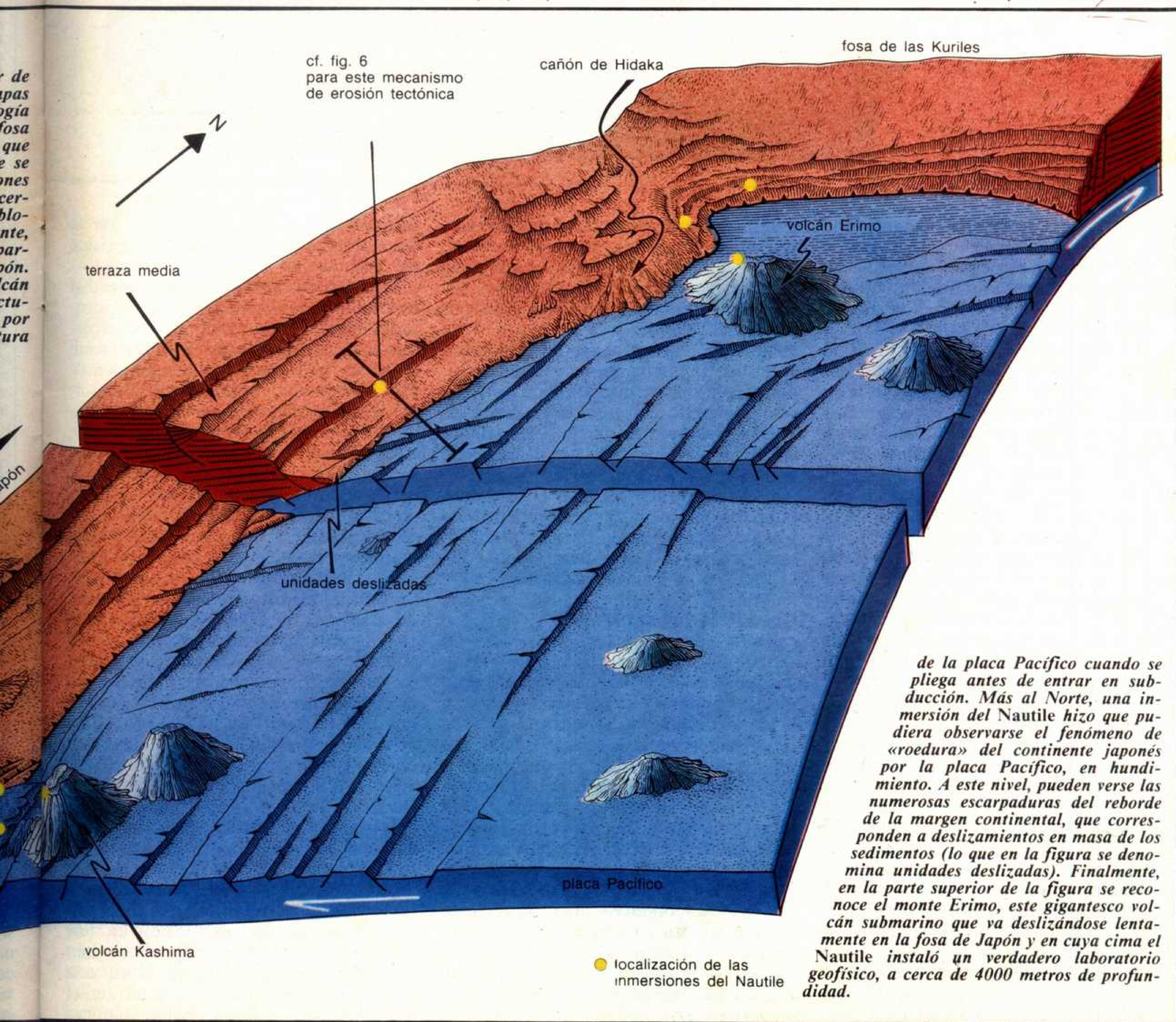
depresiones de la placa oceánica que, finalmente, se hunde bajo la ribera continental a lo largo de un plano, lubricado por el agua en sobrepresión que se desprende de aquéllos (fig. 6).

Lo más verosímil es que este fenómeno se produzca a tirones, durante los seísmos, y que digiera al final cantidades considerables de materiales a escala de los tiempos geológicos, lo que explicaría la desaparición de los 200 kilómetros de ribera en los últimos 23 millones de años aproximadamente.[6] El origen de estos derrumbamientos parece guardar relación con el movimiento vertical a lo largo de las fallas que afectan a la corteza oceànica cuando dichas fallas pasan bajo la ribera, arrastrando a los sendimentos situados encima.[7] Recordemos que la placa oceànica se dobla antes de hundirse bajo el continente; este doblamiento provoca fracturas que desplazan los terrenos en altura, y la diferencia de altitud se amplifica en las proximidades de la fosa. Los mecanismos de algunos seímos parecen confirmar que estas fracturas siguen siendo activas después de su desplazamiento hasta debajo de la ribera. Por consiguiente, no ha de sorprender que en la superficie se produzcan derrumbamientos en respuesta a estos movimientos intermitentes de las fallas oceànicas, cuya disposición hace pensar en las «teclas de un piano» (fig. 6).

¿Por qué subducciones diferentes?

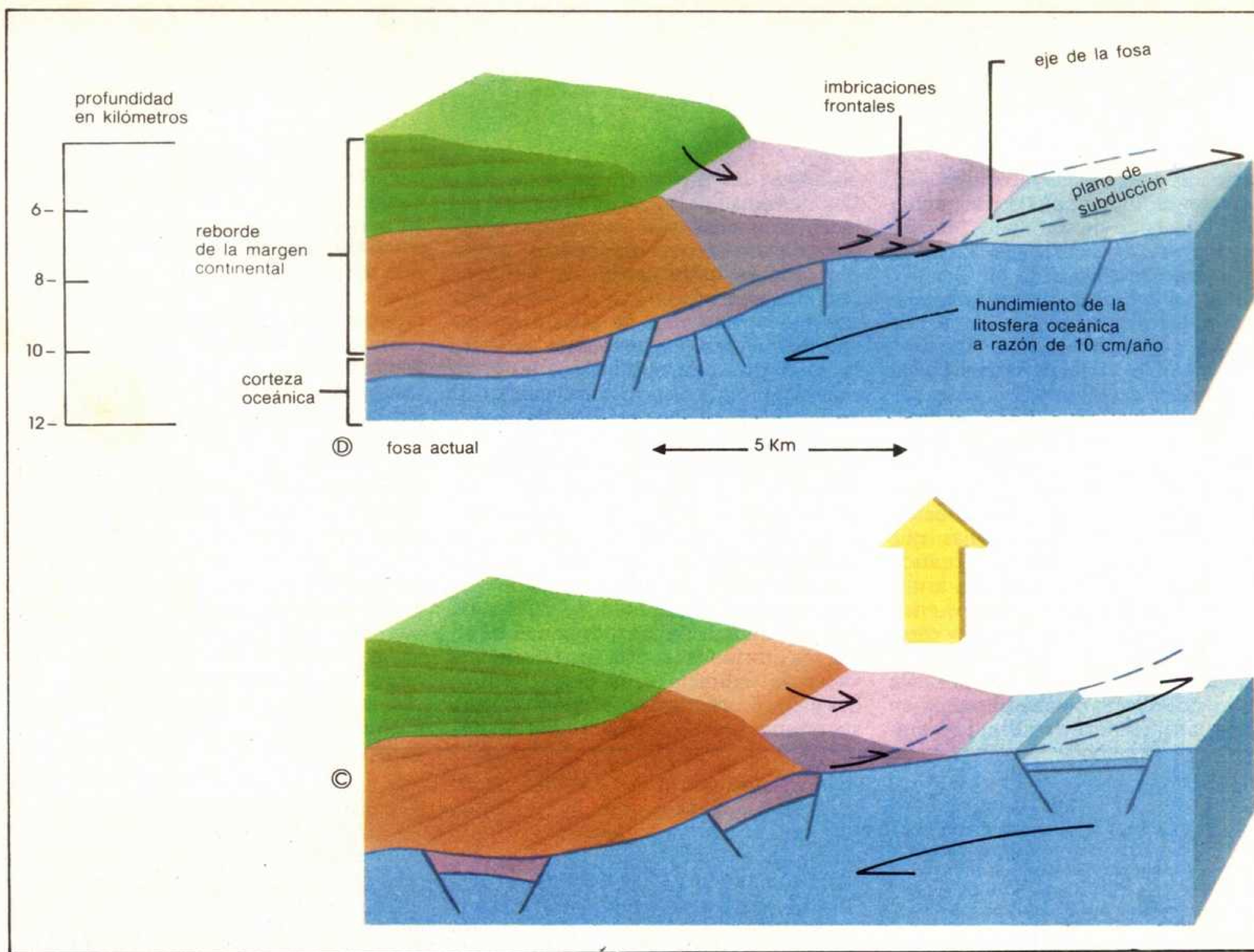
La campaña Kaiko hizo que la oposición radical entre los dos sistemas de subducción que se observan en las profundidades de las fosas de Japón se pusiera aún más de manifiesto. Por un lado, la fosa de Japón propiamente dicha es profunda y está prácticamente vacía de sedimentos; la placa Pacífico desaparece en ella sumergiéndose bajo su propio peso. La ribera continental, que se está hundiendo desde hace al menos 23 millones de años, está afectada por grandes derrumbamientos que la destruyen progresivamente mientras la fosa emigra hacia el continente, en tanto que la subducción va engullendo los productos de esta destrucción. Por el contrario, la fosa de Nankai está rellenada con un gran volumen de sedimentos procedentes del archipiélago, y la fosa propiamente dicha es menos profunda que la de Japón. Los sedimentos superficiales que no pueden pasar en subducción son deformados y van a unirse (en acreción) a la margen continental. De este modo, si la subducción del Pacífico erosiona el continente, en cambio, le hace una aportación de material nuevo. ¿Por qué estas diferencias?

Para responder a esta pregunta es necesario, en primer lugar, comparar las características de cada sistema. El primer criterio de comparación es la edad



de la placa Pacífico cuando se pliega antes de entrar en subducción. Más al Norte, una inmersión del Nautile *hizo que pudiera observarse el fenómeno de «roedura» del continente japonés por la placa Pacífico, en hundimiento. A este nivel, pueden verse las numerosas escarpaduras del reborde de la margen continental, que corresponden a deslizamientos en masa de los sedimentos (lo que en la figura se denomina unidades deslizadas). Finalmente, en la parte superior de la figura se reconoce el monte Erimo, este gigantesco volcán submarino que va deslizándose lentamente en la fosa de Japón y en cuya cima el* Nautile *instaló un verdadero laboratorio geofísico, a cerca de 4000 metros de profundidad.*

(6) S. Lallemand *et al.*, *Soc. Géol. France*, en prensa.
(7) S. Lallemand *et al.*, *C.R. Acad. Sc. Paris, 303*, 319, 1986.



de la placa que se hunde. Cuando una placa oceánica se forma en el eje de una dorsal, su grosor es pequeño, pero crece con el tiempo a medida que va enfriándose. Hay que tener en cuenta que la base de la placa queda confundida con la isoterma 1300° C, por debajo de la cual se encuentra la astenosfera, formada por materiales muy cercanos al punto de fusión y que, por tanto, pueden fluir fácilmente. Como la energía se disipa a través de la superficie de la placa en el transcurso de su envejecimiento, la isoterma 1300 °C se hunde progresivamente y la litosfera gana grosor. Por consiguiente, cuando más vieja es una placa, más pesada es. Ahora bien, la placa Pacífico, que se sumerge bajo Japón tiene entre 120 y 140 millones de años, mientras que la placa Filipinas sólo tiene unos 20 millones de años. Por tanto, la primera tiene tendencia a sumergirse con gran facilidad en la astenosfera, en tanto que la segunda desaparece quedando más cercana a la superficie. El segundo criterio de comparación es la riqueza de la fosa en sedimentos. La zona de Izu (fig. 2) está drenada por importantes ríos que aportan una gran cantidad de sedimentos a la fosa de Nankai. Generalmente, los prismas de acreción se desarrollan en los lugares en que las fosas son rellenadas con sedimentos. El ejemplo más típico, aparte de Nankai, es el prisma de las Barbados, alimentado de sedimentos por el delta del Orinoco. Los dos criterios expuestos, la edad de la litosfera sumergida y las aportaciones de sedimentos parecen ser, pues, determinantes en la evolución de una zona de subducción. Indudablemente, son posibles una serie de tipos intermedios entre los dos extremos representados por la fosa de Nankai y la de Japón. Pero cualquiera que sea el modo de subducción, una pregunta intriga a los científicos desde hace mucho tiempo. ¿Qué ocurre cuando irregularidades como un volcán aislado o un pliegue constituido por una serie de volcanes llegan a la zona de subducción? ¿Bloquean o frenan estas irregularidades el paso de una placa bajo la otra, se desprenden de la placa oceánica para unirse al borde contienental, o son «digeridas» al igual que la litosfera oceánica que las soporta?

(8) K. Kobayashi, J.P. Cadet *et al.*, *Earth Planet. Sc. Lett.*, número especial, en prensa.
(9) G. Pautot, K. Nakamura *et al.*, *Earth Planet. Sc. Lett.*, número especial, en prensa.

Cuando la subducción engulle aristas

Intuitivamente es posible imaginar que el tamaño del obstáculo que llega a la zona de subducción desempeña un importante papel, lo mismo que el tipo de ribera continental. Puede pensarse, por ejemplo, que una ribera con tendencia a limar la corteza oceánica deje pasar menos fácilmente un obstáculo que una ribera que se desgasta con el tiempo. La misión Kaiko pretendía responder a aquellas preguntas. Para ello se eligió un objetivo muy especial; se trataba de un volcán aislado, actualmente inactivo: el Kashima, situado ya bajo la ribera de Japón. Ocho inmersiones del *Nautile* de las veintisiete que se efecutaron a lo largo de toda la misión se dedicaron a la observación de la lenta digestión de esta enorme «arista» del tamaño del Fujiyama.[4,5,8,9]

El Kashima presenta la particularidad de estar formado por dos bloques separados verticalmente 1500 metros; el bloque más profundo está ya parcialmente hundido bajo la margen continental. Por consiguiente, el problema que resolver se planteaba en estos términos: ¿tenía el volcán inicialmente una forma troncocónica y quedó partido por una serie de fallas en las proximidades de la subducción en aquella región, o bien la placa se curva antes de sumergirse, o, incluso, esta especial morfología en dos bloques separados existió siempre? Los mapas del fondo marino, al igual que los perfiles sísmicos, abogaban en favor de la existencia de una gigantesca falla que habría dislocado el volcán en dos bloques separados verticalmente 1500 metros en el centro de la mole y algunos centenares de metros en los bordes. Las inmersiones efectuadas sucesivamente ante los dos bloques y la escarpadura que los separa permitieron, finalmente, dilucidar el problema (fig. 5). En efecto, a lo largo del escarpe pueden observarse numerosas fallas relacionadas con un movimiento de extensión. En la superficie aparecen basaltos que forman el esqueleto del volcán y constituyen la prueba del movimiento de estirado causante de su división en dos bloques; además, las calizas que han quedado depositadas sobre él en una época en que era todavía una isla (en el Cretáceo, hace 120 MA) son idénticas

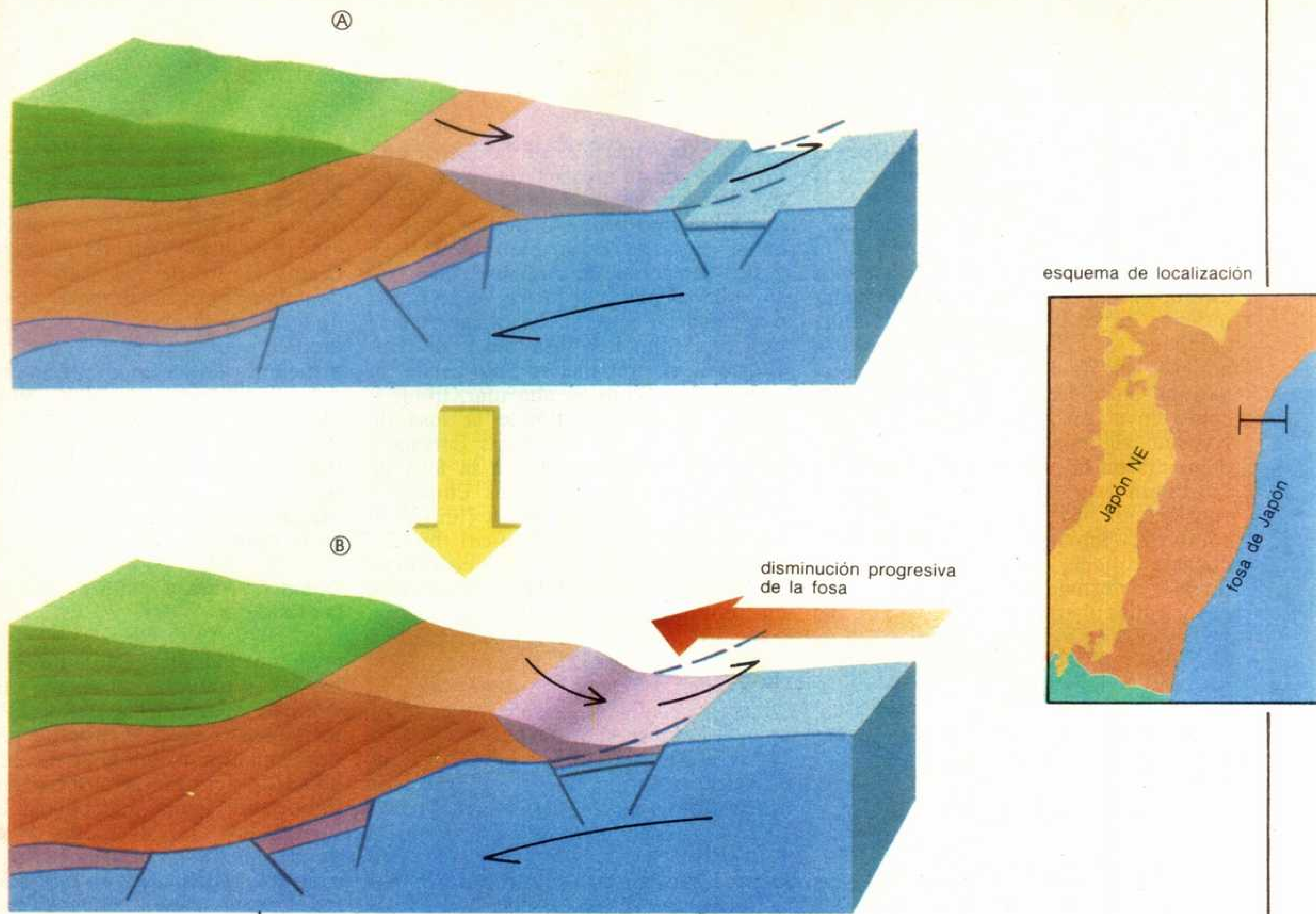


Figura 6. La campaña Kaiko debía confirmar que la vieja placa Pacífico (en azul) que se hunde en la fosa de Japón lima literalmente el borde japonés. Es decir, en esta región, la superficie de Japón disminuye, mientras que la fosa de Japón avanza hacia el Oeste. Este fenómeno de roedura de Japón es llamado por los geólogos «erosión tectónica» y se ilustra en esta figura, que representa un corte este-oeste a través de la fosa de Japón. El reborde continental japonés está constituido por rocas fechadas en más de 70 MA (en marrón) sobre las que se hallan superpuestas rocas sedimentarias más recientes, de menos de 30 MA (en verde). El límite entre estos dos conjuntos de rocas es una superficie de erosión que corresponde al período comprendido entre 70 MA y 30 MA, durante el cual la ribera continental emergió del mar, al noreste de Japón, y sufrió una erosión ya en aire libre. El reborde de la ribera continental es inestable y en él se producen deslizamientos masivos de sedimentos (en violeta) hacia la placa Pacífico en movimiento (fase A de la figura). Estos sedimientos quedan muy pronto atrapados en las depresiones de la placa Pacífico (fase B de la figura), que se hunde finalmente bajo la ribera continental y a lo largo de un plano lubricado por el agua en sobrepresión que se desprende de los sedimentos (fase C de la figura). Este fenómeno se produce, sin duda alguna, a sacudidas durante los seísmos y digiere considerables cantidades de material a escala de los tiempos geológicos. Permite, por otra parte, explicar el aspecto actual de la ribera continental, caracterizada por numerosos escarpes que se presentan como fallas o cicatrices, indicadoras de las zonas de desprendimiento (fase D de la figura). El origen de los desprendimientos de la ribera continental parece relacionarse con el movimiento de las fallas que afectan a la corteza oceánica en movimiento (en azul).

en la cima de ambos bloques. Por último, estas calizas están recubiertas de sedimentos parduscos, fechados a comienzos del Plioceno superior (4MA) y cortados por las fallas. Esto indica sin posibilidad de error que el hundimiento del bloque oeste del Kashima se produjo hace menos de 4 millones de años, mientras que el volcán se originó hace unos 120 millones de años cerca del eje de una dorsal medioceánica. Por consiguiente, el Kashima derivó durante más de cien millones de años y se fracturó recientemente en las proximidades de la fosa debido al mismo mecanismo que provoca la fractura de la corteza oceánica cuando se dobla antes de entrar en subducción. Por el momento, nada hay que haga suponer que el volcán se unirá a la margen continental en el futuro. En cambio, parece que es solidario con la placa oceánica que lo soporta, a la vez que provoca un levantamiento local del borde del continente, bien visible en los mapas del fondo marino. Esta división en partes del Kashima a medida que desciende la pared de la fosa sería, de algún modo, un proceso de predigestión, a continuación del cual la digestión del volcán en la subducción sería más fácil.

Si bien un obstáculo puntual, como un volcán, no parece provocar deformaciones importantes de la ribera cuando pasa en subducción, los pliegues volcánicos, auténticas cadenas montañosas, constituyen, en cambio, obstáculos más voluminosos, más largo y con un hundimiento más difícil. En el transcurso de la campaña Kaiko han sido estudiados dos casos de subducción de pliegues. Ambos estuvieron localizados al sur de Japón; el pliegue de Palau-Kyushu[3] y el pliegue de Izu-Bonin (fig. 2)[9,10,11] que encuadran, respectivamente al oeste y al este, la cuenca oceánica de Shikoku. En realidad, ántes de la apertura de esta cuenca, los dos pliegues formaban uno solo. Como la apertura sigue aproximadamente una dirección Este-Oeste, provocó la migración hacia el Este del pliegue de Izu-Bonin, constituido por volcanes activos, mientras que la otra, porción, el pliegue de Palau-Kyushu, quedaba atrás y veía detenerse su actividad volcánica. ¿Qué le ha ocurrido al pliegue Palau-Kyushu, poco voluminoso en el momento de la subducción? El mapa «Seabeam», levantado en 1984, muestra que su extremo norte desaparece bajo el prisma de acreción. El reparto de los seísmos, lo mismo que las velocidades de las ondas sísmicas, permiten reconocer la parte del pliegue que ya ha pasado bajo Japón, e indican que la subducción del pliegue de Palau-Kyushu se efectúa desde hace varios millones de años sin deformar de manera notable la orilla continental. Así pues, al igual que el volcán submarino Kashima, el pliegue de Palau-Kyushu se hunde sin mayores problemas bajo Japón.

No ocurre lo mismo con la subducción de un pliegue más voluminoso, como el de Izu-Bonin. En este caso, se produce una colisión al contacto con la ribera japonesa, colisión que es lo sufi-

(10) V. Renard, K. Nakamura *et al.*, *C.R. Acad. Sc. Paris, 301*, 281, 1985.
(11) K. Nakamura, V. Renard *et al.*, *Earth Planet. Sc. Lett.*, número especial, en prensa.

cientemente importante para que el pliegue emerja del océano. Por esto, la península de Izu, situada al este de Tokio, forma parte en realidad del pliegue de Izu-Bonin y, por tanto, de la placa Filipinas. Por lo demás, algunos estudios geológicos han permitido hallar indicios de la antigua fosa de subducción que se encontraba al norte de la antigua isla de Izu, antes de que ésta entrara en colisión con Japón. Pero como en el caso del pliegue de Palau Kyushu, algunos estudios sismológicos demostraron la presencia del pliegue de Izu-Bonin bajo el Japón central. Por consiguiente, no se trata de una colisión completa, sino más bien de una «subducción difícil», que se traduce en una intensa deformación del reborde japonés. La dificultad proviene, a la vez, del volumen del pliegue y de la ligereza de las rocas que lo forman. Pero, a fin de cuentas, la subducción, fenómeno glotón, es capaz de engullir obstáculos tan gigantescos como cadenas de montañas.

El excepcional encuentro de las tres fosas

El otro objetivo geológico constaba en el programa de la misión Kaiko. Esta región de nuestro planeta se caracteriza por el encuentro de tres placas que constituyen la envoltura rígida de la Tierra.

Como la superficie de la Tierra está formada por un mosaico de placas, existen necesariamente unos puntos en los que entran en contacto tres de ellas: se habla entonces de triple unión. Hay varias categorías de uniones triples, según que las placas se alejen, se acerquen o se deslicen entre sí. La categoría más rara es el tipo fosa-fosa-fosa o de convergencia de tres placas. Sólo existe un ejemplo conocido en alta mar, frente a Tokio, en el lugar donde la fosa de Sagami (límite de las placas Eurasia y Filipinas) se encuentra con la fosa de Japón (límite de las placas Eurasia y Pacífico) y la de Izu-Bonin (límite de las placas Filipinas y Pacífico) (fig. 2).

Lo que más interesa a los científicos de estas uniones son las interacciones en profundidad entre las tres placas. Téngase en cuenta que la placa Pacífico se hunde simultáneamente bajo el borde japonés y bajo el borde de la placa Filipinas. Además, ésta última pasa también en subducción bajo el borde japonés. Por tanto, ha de hundirse bajo Japón, al tiempo que permanece por encima de la placa Pacífico. ¿Se produce ello sin problemas? Evidentemente no, ya que no hay espacio suficiente entre el borde japonés y la placa Pacífico para que la placa Filipinas pueda hundirse libremente, es decir, sin sufrir deformaciones. Si realmente hay deformación en profundidad, esta deformación ha de ir acompañada de otra en superficie, lo que constituiría una importante clave para comprender los fenómenos en profundidad. Kaiko debía aportar las pruebas de la existencia de esta deformación gracias al mapa «Seabeam» y a los perfiles sísmicos. Hemos demostrado, especialmente, que el borde (este) de la placa Filipinas está afectado en superficie por pliegues y superposiciones de terrenos que traducen las deformaciones en profundidad de esta placa. De esta manera, resulta posible reconstruir aproximadamente la geometría completa de la placa Filipinas[9,10,11,12,13] y, así, tener una idea más exacta de lo que pasa en profundidad en la unión de las tres placas.

Oasis de vida a 6000 m de profundidad

Durante la realización del programa Kaiko, se tomaron en cuenta otras disciplinas, aparte de la geología. Las inmersiones a 6000 metros de profundidad constituían una gran novedad que había de permitir la observación de la importante fauna que puebla las profundidades. De este modo, a pesar de que la misión sólo estaba compuesta de geólogos, geofísicos y un geoquímico, se tomaron muchas muestras de la fauna, que se confiaron posteriormente a biólogos del IFREMER (por la parte francesa de la misión).

Doce de las veintisiete inmersiones



Figura 7. Las inmersiones del* Nautile *a 6000 metros de profundidad constituyeron una gran novedad; novedad que permitió el descubrimiento de la importante fauna que puebla los grandes fondos marinos. En doce de las veintisiete inmersiones efectuadas pudieron observarse comunidades animales dominadas por tres especies nuevas de grandes moluscos parecidos a mejillones (7 cm de longitud), pertenecientes al género* Calyptógena. *Las más profundas de estas comunidades, fotografiadas aquí, fueron descubiertas en la fosa de Japón a 5961 metros de profundidad. Situadas por encima del plano de subducción, en los lugares donde los sedimentos comprimidos liberan el agua que los satura, estas colonias animales obtienen su energía de los hidrocarburos ligeros que contienen los fluidos. Las bacterias que viven en simbiosis en las células de las branquias de los moluscos fijan el carbono de los hidrocarburos. Estos moluscos, cuya energía procede de fluidos nutrientes de origen profundo, constituyen para los científicos unos inesperados marcadores de superficie para la localización de las fracturas por las que escapan aquellos fluidos. (Foto IFREMER.)

(12) P. Labaume, P. Huchon, *C.R. Acad. Sc. Paris, 301,* 847, 1985.
(13) V. Renard, K. Nakamura *et al., Earth Planet. Sc. Lett.,* número especial, en prnesa.

efectuadas permitieron descubrir comunidades animales anormalmente densas para tan grandes profundidades, en las que la vida está más diseminada. Dominan tres nuevas especies de grandes moluscos, parecidos a mejillones (7 cm de longitud por término medio)[14,15] pertenecientes al género *Calyptogena*. Todas estas comunidades están localizadas en el reborde continental de las fosas, lo que significa indudablemente que los aportes nutritivos necesarios para la vida de estas colonias están íntimamente ligados a los fenómenos geológicos y sólo están presentes por encima del plano de subducción de la corteza oceánica, bajo la margen continental. Geográficamente, estas comunidades se han observado en el cañón de Tenyu, sobre el prisma de acreción de Nankai,[3] entre 3800 y 4020 metros de profundidad, pero también en el reborde continental levantado frente al volcán Kashima, en la fosa de Japón y en la de las Kuriles, entre 5130 y 5960 metros de profundidad[6] (fig.7). Algunas colonias muy densas pueden llegar a tener hasta doscientos individuos por metro cuadrado.

Estas comunidades recuerdan mucho las ya descritas cerca de las fuentes cálidas hidrotermales, en las proximidades del eje de las dorsales medioceánicas (véase «Los oasis del fondo de los océanos», en nuestro número de febrero de 1985) y, sobre todo, las observadas en las cercanías de los manantiales fríos mineralizados al pie del escarpe de Florida y a lo largo de la zona de subducción del Oregón, e incluso a las colonias de *Calyptogena soyoae* estudiadas en la bahía de Sagami. En todos estos casos, las comunidades obtienen su energía no del Sol por fotosíntesis, sino directamente del interior de la tierra, mediante resurgencias de agua que aportan gases y compuestos minerales. Hasta ahora no había noticia de estas colonias animales por debajo de los 3000 metros aproximadamente.[14] En la misión Kaiko, las más profundas se han encontrado a 5961 metros, y no hay duda de que hay otras a mayor profundidad, siempre encima del plano de subducción, en los lugares donde los sedimentos comprimidos expulsan el agua que los satura. El análisis de las muestras de agua tomadas por encima de las colonias animales ha revelado un contenido de hidrocarburos ligeros y de relaciones isotópicas del helio($^3He/^4He$), características de los fluidos procedentes de grandes profundidades.[16] Las relaciones isotópicas del ^{13}C medidas en las conchas y en los tejidos de los bivalvos indican que éstos, para su crecimiento, utilizan carburos ligeros asociados a los fluidos.[17] El carbono se fija mediante bacterias que viven en simbiosis en las células de las branquias de los bivalvos. El sulfuro de hidrógeno, el metano, el dióxido de carbono y el nitrógeno reducido son metabolizados gracias a distintos procesos de síntesis químicas. La composición isotópica del metano demuestra que es el resultante de la transformación progresiva de materia orgánica a temperaturas superiores a 60 °C. Este proceso de enriquecimiento de los fluidos es fundamentalmente distinto de lo que ocurre en las proximidades de las fuentes hidrotermales calientes. Las fuentes calientes dejan escapar fluidos, que pueden alcanzar temperaturas de hasta 350 °C, cargados de sulfuros y de bacterias capaces de oxidar dichos sulfuros. En este caso, el agua de mar se infiltra a través de la corteza oceánica, se enriquece en metales y se calienta durante su migración por la corteza oceánica naciente. A continuación, sale gracias a unas chimeneas hidrotermales espectaculares, las «fumarolas negras». Por el contrario, en las fosas japonesas, las colonias animales no se hallan en un contexto volcánico. Los fluidos nutrientes salen a discreción a lo largo de las fracturas y su temperatura sólo es algunas decenas de grados superior a la del agua de su entorno. En este caso, los fluidos están enriquecidos con metano procedente de la maduración por enterramiento de la materia orgánica contenida en los sedimentos y no contienen bacterias. Los sedimentos oceánicos impregnados de agua, después de haber sido engullidos por la subducción, tienden a expulsar el agua intersticial que sale aprovechando las fracturas. De ahí que el gran parecido entre los oasis de vida descubierto en el eje de las dorsales y las descubiertas en la vertical de las zonas de subducción sea sólo aparente. Los moluscos descubiertos en Japón, que consiguen su energía de los fluidos nutrientes de origen profundo, demuestran ser, a los ojos de los científicos, unos inesperados marcadores de superficie que indican las salidas de fluidos, y quizá podrían desempeñar –como ya veremos– un importante papel en la previsión de los seísmos.

Una novedad tecnológica y una esperanza de previsión de seísmos

Una de las proezas de la misión Kaiko debía realizarse durante las primeras salidas a la mar del *Nautile*. Para ello fue instalado en la cima de la montaña submarina Erimo, a cerca de 4000 metros de profundidad, un verdadero laboratorio geofísico.[5]

El monte Erimo es un gigantesco volcán apagado que se desliza lentamente en la fosa de Japón, arrastrado por la deriva de la placa Pacífico. El laboratorio instalado en su cima incluye dos inclinómetros, es decir, unos aparatos que permiten medir y registrar variaciones de inclinación del orden de 10^{-8} radianes (o sea, aproximadamente una millonésima de grado) y, por tanto,

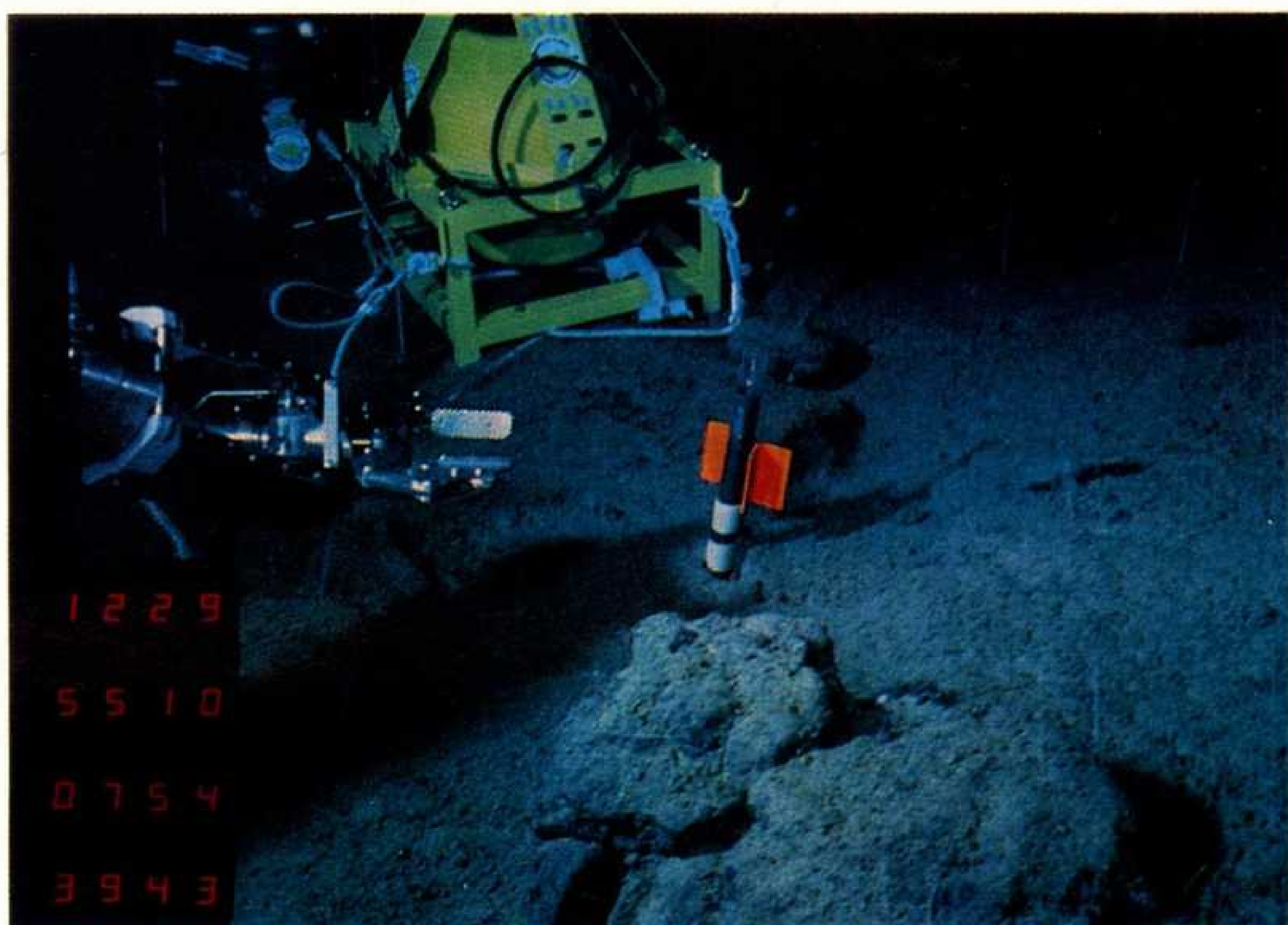


***Figura 8.** Uno de los objetivos de la misión Kaiko debía cumplirse durante las últimas singladuras del* Nautile. *El sumergible instaló un verdadero laboratorio geofísico en la cima del monte submarino Erimo, a casi 4000 metros de profundidad. En el basalto del volcán se instalaron dos inclinómetros y un seismómetro. Uno de los inclinómetros se adhirió con cemento por medio de los brazos telemanipulados del* Nautile. *Fueron necesarias doce horas de inmersión para llevar a término la operación. Estos instrumentos permitirán evaluar la progresiva curvatura de la placa Pacífico y registrar las sacudidas debidas a los más pequeños microseísmos. Los instrumentos están conectados mediante un cable a un registrador, que memoriza digitalmente los datos cada veinte minutos. Una vez al año, un buque hará descender un micrófono en el extremo de un cable hasta las proximidades del aparato, y la memoria de cada instrumento se descargará automáticamente gracias a una señal emitida a una determinada frecuencia. (Foto IFREMER.)*

(14) L. Laubier *et al.*, *C.R. Acad Sc. Paris*, en prensa.
(15) S. Ohta, L. Laubier, *Earth Planet. Sc. Lett.*, número especial, en prensa.
(16) J. Boulègue, T. Iiyama *et al.*, *Earth Planet Sc. Lett.*, número especial, en prensa.
(17) J. Boulègue, E.L. Benedetti *et al.*, *Earth Planet Sc. Lett.*, número especial, en prensa.

Una proposición concreta para prever la fecha del futuro gran seísmo de Japón.

evaluar la progresiva curvatura de la placa Pacífico. Junto a los inclinómetros se ha instalado también un seismómetro para registrar las sacudidas producidas por los más pequeños microseísmos (fig. 8). En esta ocasión, el *Nautile* puso en práctica una novedad tecnológica al adherir unos de los inclinómetros al basalto del volcán mediante cemento y gracias a sus brazos telemanipuladores.

Fueron necesarias doce horas de inmersión para efectuar la operación. Cada instrumento está conectado a un registrador mediante un cable; el registrador memoriza digitalmente los datos cada veinte minutos. Una vez al año, un buque hará descender un micrófono situado al extremo de un cable y lo colocará junto al aparato; entonces, la memoria de cada uno de los instrumentos se descargará automáticamente gracias a una señal emitida a una determinada frecuencia. La duración de vida del aparato, limitada por la de las baterías, se estima al menos en cinco años. Si este experimento, intentado aquí por primera vez, tiene éxito, aportará nuevos datos sobre el actual movimiento de la placa Pacífico y sobre la relación entre este movimiento y los movimientos sísmicos registrados en tierra.

Por último, la misión Kaiko debía finalizar con una proposición muy concreta para mejorar la previsión del futuro gran seísmo (magnitud 8,3), que los especialistas prevén para la región de Tokai, al suroeste de Tokio, en el límite entre la fosa de subducción de Nankai y la zona de colisión de Izu. Desde 1969, la comunidad científica japonesa reclamó la atención sobre la inminencia de un gran seísmo en esta región. Algunos signos precursores, como la ausencia casi total de pequeños seísmos y el aumento de tensiones de comprensión deducidas por las tomas geodésicas, hicieron que sonara la alarma. Fue posible precisar la localización, la intensidad y el plazo aproximado del seísmo augurado, sobre todo por el estudio, entre otras cosas, de los efectos históricos de los grandes temblores de tierra que afectaron a esta región en el transcurso de los últimos trece siglos. El período de recurrencia es por término medio de 150 años, y el último seísmo tuvo lugar en 1854. Ahora bien, hemos visto que las comunidades de bivalvos permiten señalar las salidas de aguas profundas relacionadas con el estado de sobrepresión que existe a nivel del prisma de acreción de Nankai. A su vez, éste está probablemente en relación directa con el estado de tensión a nivel del plano de subducción profundo, a lo largo del cual se producen los seísmos.

Un seísmo va precedido de una deformación elástica que acumula las tensiones; el propio seísmo no es más que una brusca disminución de las tensiones cuando se llega al límite de ruptura de la roca. Como toda variación de tensiones a nivel del plano de subducción se traduce en una variación local de presión, esto acarrea una variación de la velocidad de salida de los fluidos a lo largo de este plano y, por consiguiente, también en la superficie. Se ha propuesto registrar estas variaciones de velocidad de una manera continuada mediante sondas térmicas y eléctricas, y descubrir, quizás, una correlación con los seísmos registrados en tierra.[18] En principio, se intentará un experimento preliminar en un prisma de acreción más próximo a Europa, el de Barbados. En el futuro podría instalarse una red de vigilancia, a cargo de un sumergible del tipo *Nautile*, en la fosa de Nankai, para intentar la predicción del seísmo que se espera en la región de Tokai. Esta región es una de las más pobladas de Japón, con ciudades como Shizuoka, que tiene dos millones de habitantes, y el seísmo que se prevé inminente podría causar cien mil muertos. Si este método de vigilancia se revela eficaz, podría utilizarse en gran parte de los 35 000 kilómetros de las zonas de subducción, especialmente en las costas del Pacífico.

No es la primera vez que se pone de manifiesto el papel de los fluidos bajo sobrepresión en los procesos de deformación de la corteza terrestre. Ya en 1959 fue apuntada esta hipótesis por los norteamericanos M.K. Hubbert y W.W. Rubey.[19] Pero fue necesario esperar hasta 1977 para que un sondeo petrolero chino descubriera este fenómeno en tierra, en la zona de colisión de Taiwan.[20] En 1981, un sondeo oceánico profundo en el prisma de acreción de las Barbados atravesó de nuevo una zona de sobrepresión a nivel de una imbricación.[21] De manera general, pensamos que los fluidos contenidos en la parte superior de la corteza oceánica son expulsados cuando ocurren fenómenos de colisión o de subducción (es decir, cuando las tensiones son importantes), cabiéndoles entonces un papel de lubricante a lo largo de los planes de imbricación.

Gracias a la asociación de energías, estudios, financiamientos y equipos pesados entre Francia y Japón, la misión Kaiko está obteniendo unos resultados excepcionales.

La subducción ya no es tan sólo un dato de la geofísica, sino un fenómeno concreto observado *in situ* por geólogos. Además de los innumerables resultados sobre la deformación de las rocas y los procesos de sedimentación que reafirman las ideas que se tenían sobre estos dos grandes tipos de fosas, el más notable es, sin duda, el descubrimiento del lugar que ocupan los fluidos en la subducción. Esta revelación la debemos a las comunidades biológicas descubiertas en el fondo de las fosas. En realidad, y tal como los estudios de cadenas montañosas activas tienden a indicar cada vez más, los fluidos desempeñan un principalísimo papel en los mecanismos de deformación de la litosfera. ■

EL EQUIPO KAIKO



Cincuenta y ocho investigadores franceses y japoneses participaron en la misión Kaiko. Por parte francesa están vinculados a diversas universidades (París VI, VII, IX, Orléans, Lille, Montpellier, Nantes), al IFREMER, al Imperial College (Londres) y al US Geological Survey.

Los jefes de las seis misiones, que se desarrollaron durante los veranos de 1984 y 1985, fueron: Xavier Le Pichon (actualmente profesor de la Escuela normal superior), Toshimichi Iiyama (profesor de la universidad de Tokio), Vincent Renard (1984, investigador del IFREMER), Guy Pautot (1985, investigador de IFREMER), Kazuaki Nakamura (profesor asociado de la universidad de Tokio), Jean-Paul Cadet (profesor de la universidad de Orléans) y Kazuo Kobayashi (profesor de la universidad de Tokio).

(18) J. Boulègue, X. Le Pichon, *C.R. Acad. Sc. Paris, 301*, 1217, 1985.
(19) M.K. Hubbert, W.W. Rubey, Bull. *Geol. Soc. Am., 70*, 115, 1959.
(20) J. Suppe, J.H. Wittke, *Petrol. Geol. Taiwan, 14*, 11, 1977.
(21) B. Biju Duval, J.C. Moore *et al.*, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, leg. 78 A, 1984.

Para más información:

- X Le Pichon, *KAIKO, Voyage aux extremités de la mer*, ed. O. Jacob, 1986.
- C.J. Allègre, *L'écume de la terre*, Fayard, 1983.
- J. Francheteau, D. Needham, T. Juteau y C. Rangin, *Cyamex, Naissance d'un océan*, CNEXO, 1980.
- Número especial KAIKO de la revista internacional *Earth Planetary Science Letters*, que aparecerá en enero 1987 y recapitulará los primeros resultados de esta misión.
- Número especial KAIKO de la revista internacional *Tectonophysics*, que aparecerá a finales de 1987, a raíz de la conferencia internacional sobre las zonas de subducción, en Tokio y en Shimizu, del 10 al 15 de noviembre de 1986.

Las aplicaciones de los sistemas expertos

por Pierre Vandeginste

¿Quién había oído hablar hace cuatro años, de los «sistemas expertos», aparte de los especialistas interesados? Y luego, súbitamente, una algarabía. Unos no querían creer en ellos, mientras que otros se maravillaban sin rebozo ante estos programas que «razonan» como expertos, que demuestran una cierta «inteligencia», artificial, es cierto, pero a la vez calcada de la de los especialistas, de quienes han recopilado los conocimientos que aprovechan. Luego, la industria se ha apoderado del objeto del debate. Empieza a medir, por un lado, lo que cuesta la realización de un verdadero producto acabado y, por otro, lo que puede aportar este instrumento de potenciación de la sabiduría humana. Ésta, sin embargo, no se deja capturar y modelizar fácilmente en todas las circunstancias, y la hazaña no siempre vale su precio. Por tanto, empieza a efectuarse una selección entre las aplicaciones realistas a corto plazo, como la vigilancia y la reparación de averías industriales costosas, y las que deberán esperar un poco. Y es que todavía queda mucho por aprender...



Hace apenas cuatro años, la expresión *sistema experto* aún no había franqueado las puertas de los laboratorios de investigación en inteligencia artificial. Luego, incluso las revistas destinadas al gran público han presentado este nuevo tipo de programas informáticos, que incorporan «conocimientos» obtenidos de los expertos de un campo determinado y «razonan» los problemas como ellos. De la medicina a la geología, pasando por la mecánica, la electrónica o la química, todo estará a su alcance se ha dicho, a poco que se procure codificar en una *base de conocimientos* la sabiduría del especialista cuya andadura intelectual quiere imitarse. La industria se ha apropiado de este nuevo instrumento y ha empezado a invertir para aprender a dominarlo. A la época de las demostraciones sigue hoy la de las aplicaciones. Pero no hay que llamarse a engaño: sólo se está empezando.

Poner «en conserva» la sabiduría de un especialista no es cosa fácil. A pesar de que sí es fácil realizar en algunas semanas una maqueta de sistema experto capaz de asombrar a un público no muy versado, conseguir un producto acabado, validado, documentado y arropado por un sistema de mantenimiento es algo que requiere mucho trabajo. Las aplicaciones operacionales no pueden, por otra parte, ser muchas, ya que la industria no ha empezado hasta «tiempos muy recientes a prepararse para aprovechar esta nueva tecnología. No hay que asombrarse de esta inercia: el sistema experto no es un instrumento mágico; como tantos otros sólo pueden ponerlo en práctica equipos competentes, equipos que hay que reunir, formar y entrenar. Ocurre como con el láser o con la fibra de silicio, cuyos campos de aplicación real no podían preverse sin entregarse antes a exploraciones, ensayos y, por tanto, a errores. Y si respecto a ellos la industria se ha mostrado prudente durante largo tiempo no hay que olvidar que esta actitud es una regla, no una excepción.

Según los análisis de la firma DM Data, este año la inteligencia artificial habrá generado una cifra de negocio mundial del orden de aproximadamente mil millones de dólares. Se trata de un sector de actividad dentro del cual el capítulo de los sistemas expertos roza el de los ordenadores especializados y el de los sistemas de visión artificial, comprensión del lenguaje natural y reconocimiento de la palabra. Sobre este total, los sistemas expertos representarían 140 millones de dólares. Otro estudio de mercado de la firma Ovum Ltd. valora en 200 millones de dólares la cifra norteamericana de negocios en 1986 para los productos y servicios de sistemas expertos y prevé, para 1990 un aumento hasta mil millones de dólares. Pero, aparte de estas divergencias, se impone una realidad: los sistemas expertos constituyen hoy una actividad industrial naciente, pero de pleno derecho.

Figura 1. En las salas de control de las grandes instalaciones industriales, los operadores han de vigilar cantidades cada vez mayores de parámetros, y las consecuencias de sus decisiones pueden adquirir proporciones importantes. Por tanto, el control de los procesos industriales es una de las aplicaciones de los sistemas expertos en la que actualmente parece estar más justificado el interés económico. El sistema experto Extase, desarrollado por los laboratorios de Marcoussis de la CGE, tiene por misión ayudar al operador a abordar los incidentes habituales. Frente a un problema, identifica los datos pertinentes, da una información de síntesis sobre las posibles causas, sugiere una acción correctora y analiza las diferencias entre la evolución prevista y la realidad. La primera aplicación del Extase se ha efectuado en una columna de destilación al vacío. (Foto Laboratorio de Marcoussis.)

Una actividad industrial de pleno derecho

¿Cuántas aplicaciones realmente operativas pueden derivarse de esta actividad? Todavía pocas. Los especialistas más rigusosos dicen que para contarlas bastan los dedos de una mano. Bruce G. Buchanan, uno de los padres del concepto, citaba a principios de año unas sesenta,(1) sin pretender que la lista fuera exhaustiva (fig. 2). Evidentes razones de *«marketing»* explican que prototipos de incierto futuro se presentan a menudo como productos acabados. Pero la misma idea de «operatividad» es también muy relativa. Pueden ser numerosas las etapas de un sistema instalado *in situ* por un equipo de desarrollo que hubiera ya realizado pruebas hasta entregar un producto «de catálogo», debidamente dotado de su servicio posventa. No obstante, es casi cierto que los sistemas que han demostrado su «aprovechabilidad» se cuentan actualmente sólo por decenas. En cambio, son centenares los prototipos que se están estudiando en todo el mundo. Y el número de las simples «maquetas» debe sobrepasar ya el millar.

¿Qué ventajas espera obtenerse de un sistema experto? En general, al aprovechar unos conocimientos y unos modos de razonar recogidos de los expertos no se espera que el alumno supere a sus maestros. Por el contrario, hay muy buenas razones para temer que algunas sutilezas puedan sobrevivir mal al proceso de traducción que desemboca en la construcción de los modelos informáticos. Pero si la sabiduría se ha recogido de los mejores especialistas, el sistema experto puede resultar más competente –al menos por término medio– que un especialista menos competente. Por este motivo, puede representar la materialización de unos conocimientos raros y difícilmente accesibles. A diferencia de los expertos humanos, de esta transcripción pueden obtenerse numerosos ejemplares, instalarse en numerosos lugares, eventualmente inhabitables o peligrosos, y emplearse las 24 horas del día y los 365 días del año. Por tanto, un sistema experto es un medio de potenciar en el tiempo y en el espacio unos conocimientos similares a los que poseen los expertos –los mejores posibles– que han servido de modelo.

No es ésta la ocasión de detallar los principios que se ponen en práctica en los sistemas expertos, ya presentados en estas columnas en el artículo de Marie-Odile Cordier (véase nuestro número de marzo de 1984). Sólo recordaremos algunos puntos fundamentales. Un sistema experto se caracteriza por explotar una importante cantidad de conocimientos pragmáticos enfocados al modo de resolver el problema planteado, por oposición a los programas realizados antes por los especialistas en inteligencia artificial, que compensaban la ausencia de tales conocimientos con una ciega exploración del espacio combinatorio de las soluciones. Dicho de otro modo: un sistema experto, más que conocer solamente la regla del juego y ensayarlo todo, se dirige hacia la solución siguiendo una andadura lógica, guiada por un conjunto de conocimientos que representan –o así se espera– la manera de actuar de los humanos que habitualmente resuelven mejor el tipo de problema considerado.

Se plantean, pues, dos cuestiones: la de la representación de los conocimientos puestos en práctica por el experto y la de la simulación de sus razonamientos. Los enfoques que se dan son muchos. Una de las mayores preocupaciones es separar todo lo posible la expresión de los conocimientos de la expresión de los mecanismos de razonamiento; y esto por muchas razones. Una ventaja especialmente obvia es que esto permite realizar unos programas «razonadores» más o menos generales, que pueden aplicarse a diversas «bases de conocimientos» correspondientes a diversos campos de competencia. Por otra parte, esta separación facilita la formación, el mantenimiento y la puesta al día de las bases de conocimientos, en las que sólo éstos se expresan, independientemente del modo en que se empleen.

El enfoque más corriente, y también el más sencillo, es el de las *reglas de producción* (fig. 3). Según este formalismo, los conocimientos se expresan por una serie de *reglas* del tipo: «Si *condiciones*, entonces *conclusión*». Por ejemplo, un mecánico de automóviles indicará de esta manera que: «Si *el motor, a bajo régimen, falla* y si *la carburación está descartada*, entonces *hay que sospechar de un avance en el encendido*». Las condiciones, como las conclusiones, expresan unos *hechos* que desembocan en un modelo de la realidad que se está tratando. En los sistemas que explotan este tipo de reglas, el razonamiento lo realiza un *motor de inferencia* que, de manera cíclica, confronta el conjunto de

Pierre Vandeginste es periodista científico, especializado en informática. Es consejero de redacción de *La Recherche*.

Nombre del sistema	Usuario	Aplicación
Informática y electrónica		
Xcon	Digital Equipment Corp.	Configuración de las instalaciones informáticas de la gama Vax
Xsel	Digital Equipment Corp.	Controla los pedidos de ordenadores Vax
Xsite	Digital Equipment Corp.	Planifica la instalación *in situ* de ordenadores Vax
Al-Spear	Digital Equipment Corp.	Diangóstico de averías en unidades de cinta magnética
Callisto	Digital Equipment Corp.	Gestión de los recursos para el diseño de circuitos
CDx	Digital Equipment Corp.	Análisis de los fallos en instalaciones informáticas
Das-Logic	Digital Equipment Corp.	Asistencia al diseñador de circuitos
NTC	Digital Equipment Corp.	Reparación de averías en redes informáticas
Pies	Fairchild	Diagnóstico de las cadenas de fabricación de circuitos
Compass	GTE	Mantenimiento de conmutadores telefónicos
Photolithography Advisor	Hewlett-Packard	Control de las fases de fotolitografía de los circuitos integrados
Hiclass	Hugues	Define las etapas de ensamblaje de las tarjetas de microordenadores
CSS	IBM	Planificación de las reinstalaciones de ordenadores
Pine	IBM	Ayuda a la redacción de informes de análisis de defectos de logicial
Yes/MVS	IBM	Ayuda al manejo del sistema de explotación MVS
–	ICL	Configuración de los ordenadores de la serie 39
–	ITT RFA	Diagnóstico de los defectos en los circuitos impresos
BDS	Lockheed	Reparación de equipos de comunicación
Dig Voltage Tester	Lockheed	Reparación de instrumentos electrónicos de laboratorio
Ocean	NCR	Control de pedidos y configuración de ordenadores
Faultfinder	Nixdorf	Diagnóstico de las unidades de disco magnético
Conad	Nixdorf	Control de pedidos y configuración de ordenadores
Ace	S. W. Bell	Reparación de las líneas telefónicas
Diag 8100	Traveles Insurance	Diagnóstico de las averías de equipos informáticos
Fabricación e ingeniería		
Iclx	British Steel Corp.	Ayuda al diagnóstico
–	Campbell Soups	Reparación de esterilizadores
Engine Cooling Advisor	Delco Products	Diagnóstico de los ruidos en los sistemas de refrigeración
Motor Brush Designer	Delco Products	Diseño de escobillas y muelles para pequeños motores eléctricos
Isa	Digital Equipment Corp.	Planifica las órdenes de fabricación y entrega
Dispatcher	Digital Equipment Corp.	Planifica la distribución de piezas para los robots
Cats	General Electric Co.	Diagnóstico de averías en locomotoras diesel
–	Hitachi	Controla el frenado de trenes
–	Kawasaki Steel	Detecta los defectos en el metal
Stowage Planner	Kawasaki Steel	Planifica la carga de los fletes
VT	Westinghouse	Configuración de los mandos de ascensores
–	Westinghouse	Evaluación del combustible nuclear
Isis	Westinghouse	Planificación de las tareas de un taller
Pride	Xerox	Diseño de fotocopiadoras
Química		
–	British Gas	Aconseja sobre la elección de un herbicida
Tqmstune	L. Livermore National Lab.	Regulación de un espectrómetro de masas
Dendral	Molecular Design Ltd	Identificación de moléculas
–	Shell Institute	Estudia las propiedades herbicidas de nuevas moléculas
Synchem	Suny-Stonybrook	Planificación de síntesis química

reglas al conjunto de hechos considerados como verificados (reunidos en la *base de hechos*), por que han sido aportados por el usuario o deducidos en una etapa anterior. Cuando, por ejemplo, ambos hechos: *«El motor falla a bajo régimen»* y *«la carburación está descartada»* han sido verificados, la regla dada en el ejemplo citado se considerará capaz de ser puesta en funcionamiento y, a poco que sea la única en este caso, será puesta en marcha por el motor de inferencia. Esto se traducirá en la adición del hecho: *«Hay que sospechar de un avance en el encendido»,* conclusión de esta regla en la base de hechos. Si todo ocurre de manera correcta, este hecho recientemente adquirido permitirá, en el ciclo siguiente, que se ponga en funcionamiento una regla siguiente, y así sucesivamente. De esta manera, y paso a paso, el sistema producirá un razonamiento que llevará a unas determinadas conclusiones los hechos apuntados por el usuario.

(1) B.G. Buchanan, *Expert Systems, 3,* 32, 1986.

El modo de inferencia que se acaba de describir esquemáticamente es sólo un caso particular –aunque muy utilizado– entre otros. Se basa en la aplicación de una regla de derivación (que no hay que confundir con las reglas de producción de la base de conocimientos), denominada en lógica matemática el *modus ponens,* que afirma: si se sabe que «A implica B» es verdadero y que también lo es A, se deduce que B es verdadero. Una ventaja de la separación de los conocimientos de los programas que los explotan consiste en que aquéllos pueden emplearse de diferentes maneras. Así pues, otra regla de derivación, el *modus tollens,* permitirá explotar la misma regla «A implica B» para deducir que A es falso cuando se sabe que B es falso.

Las lógicas del razonamiento humano

Son muchos los modos de razonamiento que, basados en diversos tipos de lógicas, han sido puestos en práctica en los sistemas expertos. De manera especial se ha buscado ya desde los primeros tiempos una independencia del razonamiento categórico, fácil de modelizar, es cierto, pero alejado con demasiada frecuencia de la realidad. En efecto, es corriente que, para un experto, un determinado síntoma corresponda, aunque no de manera formal, a una determinada disfunción. Se han propuesto varios formalismos de razonamiento aproximativo, sin que ninguno pueda llegar a imponerse plenamente. Tales formalismos presuponen que ciertos coeficientes han de ser atribuidos a las reglas y a los hechos, indicando un grado de certeza para cada uno de ellos. Cada técnica interpreta estos coeficientes –dentro de varios cuadros teóricos– cuya teoría de probabilidades sólo representa un ejemplo.

Las investigaciones sobre los formalismos de representación de los conocimientos y los modos de razonamiento

Nombre del sistema	Usuario	Aplicación
Geología		
Secofor	Elf-Aquitaine	Aconseja sobre ciertos problemas de perforaciones petroleras (formación)
Geox	Nasa	Identifica minerales a partir de imágenes procedentes de satélites
Mudman	NL Indus.	Diagnóstico de los problemas de composición de los lodos de las perforaciones
Dipmeter Advisor	Schlumberger	Analiza los datos procedentes de un pozo petrolífero
Medicina		
—	Helena Labs	Analiza proteínas del suero
Puff	Pacific Medical Center	Interpreta las exploraciones respiratorias
—	St Vincent's Hospital (Sydney)	Interpreta las medidas de hormonas tiroideas
Oncocin	Stanford Oncology Clinic	Seguimiento de los tratamientos de cáncer
Finanzas		
—	American International Group	Evaluación de riesgos en contratos de seguros
Apex	1st Financial Planning Systems	Ayuda a la gestión financiera de las cuentas de clientes
—	St Paul Insurance Co.	Evaluación de riesgos en seguros comerciales
Agricultura		
Wheat Counsellor.	ICI	Prevención de enfermedades en los trigos de invierno
Pomme	Virginia Polytechnic Inst.	Gestión de los campos de manzanos
Formación		
TVX	Digital Equipment Corp.	Formación en el sistema de exploración VMS
Decguide	Lockheed, Sunnyvale	Formación de diseñadores
etc... Diversos		
Eddas	EPA	Aconseja sobre la divulgación de informaciones confidenciales
Infomart Advisor	Infomart, Dallas	Consejo para la compra de ordenadores
—	Shell Petroleum	Interfaz inteligente de programas complejos
Aalps	US Army	Optimiza la carga de aviones en equipamiento y flete

Figura 2. Bruce G. Buchanan, uno de los «padres» de los sistemas expertos, enumeraba unas sesenta aplicaciones operativas en un artículo publicado a principios de año. Su lista no pretende ser exhaustiva y, evidentemente, no goza de un acuerdo unánime. El autor ha seleccionado cada realización basándose en indicaciones precisas, publicadas u obtenidas a título personal. Aplicando criterios todavía más estrictos, otros especialistas opinan que solamente una media docena de aplicaciones serían hoy verdaderamente operativas. (Según Bruce G. Buchanan, «Expert systems: working systems and the research literature», in* Expert Systems, *vol. 3, enero 1986, pp. 32-51.)

prevén todavía otras direcciones. Los razonamientos humanos adoptan formas muy variadas con pocas esperanzas de poder ser modelizados en una sola y única lógica. Cada nueva técnica presenta sus ventajas y sus inconvenientes, según el contexto de utilización. En ausencia de un modelo universal, se intenta incorporar a los *sistemas de desarrollo de sistemas expertos,* especie de cajas de herramientas destinadas a los equipos de desarrollo, varios formalismos complementarios.

No todas las actividades intelectuales son igualmente susceptibles de simulación con la ayuda de un sistema experto. Y como, en teoría, nada se opone a que lo sean, todavía no es cierto que la operación sea, desde el punto de vista económico, realista. Frederick Hayes-Roth, Donald A. Winterman y Douglas B. Lenat[2] proponen un reparto de las aplicaciones previsibles en diez categorías: interpretación, predicción, diagnóstico, concepción, planificación, seguimiento, reparación (prescripción), restablecimiento (aplicación del remedio), formación, control. Estos conceptos se apoyan unos en otros. Así, el control se define como la interpretación, la predicción, el restablecimiento y el seguimiento del comportamiento de un sistema.

Otros autores proponen unas tipologías distintas, y son raras las realizaciones que pueden incluirse de manera inequívoca en una categoría bien definida. De ahí que sea preferible presentar las aplicaciones de los sistemas expertos según los sectores de actividad a los que corresponden.

Son ya varios los campos declarados líderes del sistema experto. La medicina, quizá por razones fundamentalmente históricas, fue la primera actividad que se consideró como especialmente adecuada. El sistema experto más citado, Mycin,[3] realizado por Edward H. Shortliffe y Randall Davis alrededor de 1985 en la universidad de Stanford, tenía como misión el diagnóstico de las infecciones de la sangre y la prescripción de los antibióticos idóneos para cada caso. Pronto se vio que las prescripciones eran comparables a las de un especialista, por lo que fue el Mycin el origen de la expansión de los sistemas expertos. A continuación se desarrollaron decenas de sistemas expertos médicos, con el diagnóstico como función

(2) F. Hayes-Roth *et al.*, «An Overview of Expert Systems», *in Building Expert Systems,* F. Hayes-Roth, D.A. Winterman y D.B. Lenat (eds.), Addison-Wesley, 1983.

(3) E.H. Shortliffe, *Mycin: computer based medical consultation,* American Elsevier, 1976.

principal. Los más conocidos se denominan, todavía hoy, Puff (universidad de Stanford interpretación de exámenes referentes a la función respiratoria), el Internist/Caduceus (universidad de Pittsburgh; cubre prácticamente toda la medicina interna) y el Oncocin/Opal (universidad de Stanford; seguido de un protocolo terapéutico en oncología). Muchos equipos franceses se interesaron inmediatamente por estos sistemas; este interés fue más patente en Marsella (Sphinx) y en la Pitié-Salpêtrière (Sam).

Medicina: resultados alentadores pero un problema de aceptabilidad

Ahora bien, ¿en qué condiciones puede ser bien utilizado un sistema experto médico? El nivel de competencia previsto, y generalmente alcanzado, no es el del mejor especialista, sino más bien el de una categoría intermedia entre éste y el médico de medicina general. Por tanto, es en la consulta de este último donde tiene su mejor lugar un sistema experto. Piensan algunos que, con una advertencia sobre cada caso particular, el sistema experto ya resultaría más útil que la lectura de una publicación y evitaría tener que recurrir al especialista siempre que el cuadro clínico fuera suficientemente típico, nunca crítico. No obstante, esta perspectiva ha suscitado muchas dudas, entre ellas la de cuáles serían sus consecuencias en la relación médico-paciente, relación en la que no sólo cuenta lo racional. Pero si bien el interés de los sistemas expertos no está aún demostrado a los ojos de todos, sí lo está, en cambio, algo más en ciertas situaciones particulares. En primer lugar, su uso es perfectamente imaginable en la enseñanza, en la que permitiría que el alumno comprobara, en casos planteados en la escuela, su diagnóstico con el del «maestro».

También parece que el sistema experto ha de ser bien aceptado si se tiene en cuenta que es manifiestamente capaz de reaccionar más rápidamente que el hombre. Esto es lo que ha demostrado el empleo del VM (Ventilation Monitor, universidad de Stanford), un sistema de seguimiento de pacientes que analiza permanentemente los datos procedentes de numerosos sensores y es capaz, llegado el caso, de dar la alarma. La interpretación automática de exámenes de rutina, especialmente cuando los parámetros son numerosos (electrocardiograma, control respiratorio e incluso placas radiográficas), podría también ser bien admitida, ya que acelera el trabajo del especialista al tratar los casos más corrientes. Esto es lo que hace con gran eficacia el Puff en el caso de la exploración respiratoria, especialmente en un hospital de San Francisco desde hace más de seis años.

A - Base de conocimientos

Regla R1	Si tiene derecho y expediente completo	entonces descuento concedido
(comprender: «Si el peticionario de un descuento tiene derecho a dicho descuento y si presenta una documentación completa, entonces se le concede aquel descuento»)		
Regla R2	Si *trabajador en paro*	entonces tiene derecho
Regla R3	Si *estudiante* y *menor de 25 años*	entonces tiene derecho
Regla R4	Si *asalariado* e *ingresos inferiores al SMIP*	entonces tiene derecho
Regla R5	Si *formulario cumplimentado* y pago	entonces documentación completa
Regla R6	Si *pago en efectivo*	entonces pago
Regla R7	Si pago por cheque y *documento de identidad presentado*	entonces pago

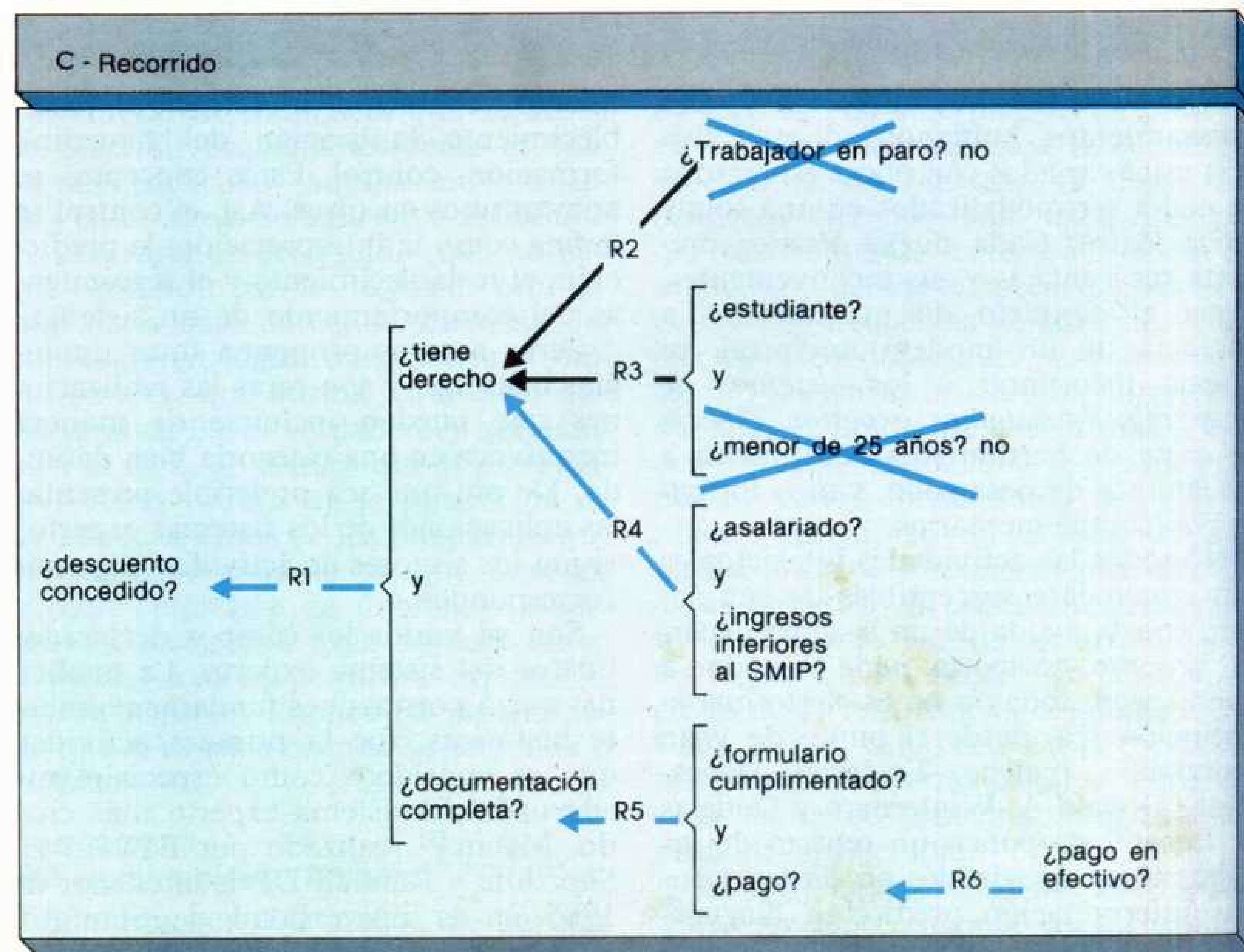


Figura 3. Una compañía aérea quiere conceder un nuevo descuento a determinadas categorías de viajeros de modesta economía y utiliza un sistema experto para comprobar en cada caso particular si concurren las condiciones exigidas.... El ejemplo es muy poco realista, pero permite presentar los principios del funcionamiento de un **sistema de producción** *(véase texto). La base de conocimientos (A) incluye siete reglas de producción del tipo: «Si condiciones, entonces conclusión». Se explotan aquí en* **encadenamiento hacia atrás.** *Esto significa que en vez de ir de las condiciones a las conclusiones, el motor comprueba un hecho particular con la ayuda de las reglas que implican este hecho en conclusión. Cuando encuentra una, pasa a verificar los hechos indicados como condiciones de esta regla, y así sucesivamente. Si un hecho no está presente en ninguna conclusión de regla, se considera* **no deducible.** *Sólo el usuario, respondiendo a una pregunta, puede indicar si está verificado o no. En el diálogo entre el sistema y su usuario presentado en B, los comentarios en letra pequeña indican de una manera sumaria el razonamiento efectuado por el sistema entre dos preguntas. El esquema C muestra el recorrido efectuado por el sistema (de izquierda a derecha y de arriba a abajo). Las flechas en negrita indican las reglas efectivamente aplicadas. Puede constatarse que la regla R7 que daba otro medio de verificar el hecho: «pago» no se utiliza, ya que la primera tentativa (regla R6) ha sido satisfactoria.*

En determinadas situaciones médicas especiales, es el propio paciente quien se hace cargo de su enfermedad y de la prescripción de los medicamentos. Es el caso, por ejemplo, del diabético insulino-dependiente, que debe vigilarse constantemente, seguir un régimen severo y autoadministrarse tres inyecciones diarias. Un sistema experto «conocedor» de las reglas que el paciente ha de respetar, sería un instrumento precioso para su formación y el seguimiento cotidiano de su enfermedad. La diabetología es, entre otras, una de las especialidades frecuentemente tratada por la inteligencia artificial, ya que al menos cinco equipos franceses la han adoptado. Un sistema ensayado en el hospital Jeanne d'Arc de Toul, desarrollado en colaboración con el Centro de investigación de informática de Nancy, da preferencia, precisamente, al aspecto de la formación del paciente. La firma parisina Cognitech realiza el sistema Diabolo, destinado no sólo a guiar al médico hacia una buena terapéutica, sino también a formar al paciente. El Diabeto, desarrollado por los investigadores de Toulouse H. Farenny y su equipo (universidad Paul Sabatier), está diseñado para poder ser consultado, mediante un minitel, por el médico de medicina general. Finalmente, el Protis (Pr Roux) y el Sphinx (M. Fieschi y M. Joubert), desarrollados ambos en la facultad de medicina de Marsella, ayudan a la prescripción terapéutica en la diabetes de los obesos, en el primer caso, y a otras varias patologías, en el segundo.

La oncología es otro campo médico en el que la adopción del sistema exper-

B – Diálogo

(Trato de verificar el hecho: «descuento concedido». La regla R1 permitiría verificar el hecho: «descuento concedido».
Para aplicar R1, he de verificar los hechos: «tiene derecho» y «documentación completa».
Trato de verificar el hecho: «tiene derecho».
La regla R2 permitiría verificar el hecho: «tiene derecho».
Para aplicar R2, he de verificar el echo: *«trabajador en paro»*.
El hecho *«trabajador en paro»* no es deducible)

El peticionario ¿es trabajador en paro? **no**

(La regla R2 no es aplicable.
La regla R3 también permitiría verificar el hecho: «tiene derecho».
Para aplicar R3, he de verificar los hechos *«estudiante»* y *«menor de 25 años»*.
El hecho: «estudiante» no es deducible)

El peticionario ¿es estudiante? **sí**

(El hecho *«menor de 25 años»* no es deducible)

El peticionario ¿es menor de 25 años? **no**

(La regla R3 no es aplicable.
La regla R4 también permitiría verificar el hecho: «tiene derecho».
Para aplicar R4, he de verificar los hechos: «asalariado» e «ingresos inferiores SMIP»
El hecho *«asalariado»* no es deducible.)

El peticionario ¿es asalariado? **sí**

(El hecho *«ingresos inferiores SMIP» no es deducible.)*

Sus ingresos ¿son inferiores al SMIP? **sí**

(La regla R4 es aplicable y me permite deducir el hecho «tiene derecho».
Trato de verificar el hecho: «documentación completa».
La regla R5 permitiría verificar el hecho: «documentación completa».
Para aplicar R5, he de verificar los hechos: *«formulario cumplimentado»* y «pago».
El hecho *«formulario cumplimentado»* no es deducible.)

¿Está cumplimentado el formulario? **sí**

(Trato de verificar el hecho: «pago».
La regla R6 permitiría verificar el hecho: «pago».
Para aplicar R6, he de verificar el hecho: *«pago en efectivo»*.
El hecho: *«pago en efectivo»* no es deducible.»

¿Se efectúa el pago en efectivo? **sí**

(La regla R6 es aplicable y me permite deducir el hecho: «pago».
La regla R5 es aplicable y me permite deducir el hecho «documentación completa».
La regla R1 es aplicable y me permite deducir el hecho: «descuento concedido»).

El hecho «descuento concedido» ha sido verificado. Terminado.

to tiene muchas posibilidades de convertirse en realidad. Las terapéuticas empleadas contra el cáncer van mejorando constantemente, al ritmo de los resultados de la investigación clínica, y las decisiones las toma generalmente un colectivo que respeta un protocolo definido. Una situación de este tipo se presta muy bien a la puesta en práctica de sistemas expertos; incluso los especialistas pueden ver en ellos un medio de expresión superior a la versión escrita de los protocolos que ellos mismos han decidido respetar. Ya se ha mencionado el sistema norteamericano Oncocin, que permite el seguimiento de la aplicación de un protocolo terapéutico. Su complemento, el Opal, ayuda al médico a elaborar y a experimentar un nuevo protocolo.

El objetivo del proyecto Roundsman (universidades de Stanford y Yale) es mucho más ambicioso, ya que se trataría, a cierto plazo, de simular el razonamiento de un médico a partir de la descripción, tomada de la literatura médica, de las experiencias clínicas que inspiran su enfoque terapéutico. Citemos dos proyectos franceses, relativos ambos al tratamiento del cáncer de mama. El Senex 1 ha sido desarrollado en la fundación Bergonié, de Burdeos, mientras que el segundo es el resultado de una colaboración entre varios equipos parisienses (Centro René Huguenin, De Saint-Cluod y Laboratoire de recherche en informatique d'Orsay, Société GSI).

Pero, repitámoslo: si la medicina ha dado origen a un gran número de trabajos, si en algunos casos se ha podido demostrar que el ordenador era capaz de diagnosticar y de recetar tan bien –si no mejor– como un médico principiante, nada permite pensar que los sistemas expertos puedan utilizarse masivamente en un futuro próximo. En esta materia, más que en otras, no es sólo la técnica la que cuenta: también hay que tomar en consideración las mentalidades y las relaciones sociales. Entre otros problemas planteados, hay uno de ética que no puede orillarse: el de la responsabilidad. ¿A quién habrá que reclamar cuando un no especialista haya aplicado un mal consejo? Los especialistas que han aportado sus conocimientos no serán forzosamente los únicos culpables, ya es posible que se haya introducido un error en el proceso de retranscripción de los conocimientos o que el programa haya sido mal preparado.... a este respecto, todavía nada hay claro.

Otro campo de aplicación se ha señalado, quizá demasiado precozmente, como el Eldorado del sistema experto: las finanzas. El sistema experto, consejero de gestión de las carteras bursátiles, parecía poder facilitar rápidas fortunas. Basadas en esta creencia, se crearon en Estados Unidos varias sociedades; los bancos hicieron inversiones, pero los resultados suelen hacerse esperar y no siempre responden a las esperanzas concebidas. El olfato y la interpretación de los informes, condiciones indispensables para los buenos negocios, no son fáciles de formalizar. Sin embargo, hay que destacar un resultado impresionante; el sistema Tadis para previsión de las fluctuaciones del mercado de divisas, realizado por la firma Data Logic, demostró ser mejor consejero que varios organismos financieros en el transcurso de una competición organizada en Londres a comienzos de 1986.

Expertos financieros electrónicos

Si el golpe bursátil milagroso por ordenador no está todavía garantizado, el sector financiero, en su más amplio sentido, constituye un importante sector de potenciales aplicaciones y hasta de las más razonables (consejo fiscal, ayuda en la elección de productos financieros, análisis de riesgos y redacción de contratos en los seguros, etc.). Es interesante destacar que las finanzas es uno de los campos en el que en ciertos casos, es posible prever la venta a numerosos clientes (por ejemplo, cierta categoría de empresas) de un mismo producto acabado y listo para su empleo. Los casos «a medida» suelen ser la regla, especialmente en la industria, donde los conocimientos acostumbran a ser «los de la casa».

En este sector se han hecho grandes apuestas, como el de Palladian Software Inc. Esta sociedad, creada en abril de 1984 en Cambridge por profesores del Massachusetts Institute of Technology (MIT), ha gastado cinco millones de dólares en el desarrollo de un único producto, el Financial Advisor, propuesto por la bonita suma de 100 000 dólares. Se trata de una especie de consultor financiero de las grandes empresas. El Planpower, de la firma Apex, se dirige al mismo tipo de clientela. Siempre con la misma orientación, firmas como Syntelligence (Lendig Advisor) o Arthur D. Little (Personal Financial Advisor) ofrecen sistemas financieros menos ambiciosos.

En Francia existe una realización cercana a la categoría operacional en la Central de balances del Banco de Francia, que registra anualmente el balance de 23 000 empresas. El sistema Aide se destina a establecer, para cada una de ellas y a partir de un centenar de indicadores, una síntesis que hace hincapié en las particularidades más sobresalientes de la empresa. Hay que mencionar también un sistema de ayuda a la elección de una solución de crédito en las entidades bancarias, sistema que sin duda resultaría satisfactorio, pero, todavía no es utilizado por los clientes.

La jurisprudencia y de manera más general la reglamentación suelen citarse como sectores en los que los sistemas expertos podrían obrar maravillas. Es lógico que este tipo de conocimientos presentan la ventaja al menos, de estar escritos y que sólo se trata, generalmente, de aplicar unos «textos» y unos razonamientos que nada deben al azar. Pero la realidad no es tan sencilla. También aquí se choca con la barrera de lo «no dicho» y de la evidencia: todo está escrito menos lo que es en sí mismo evidente. Y para el ordenador nada cae por su propio peso. Por otra parte, el mismo volumen de los textos que hay que tener en cuenta (leyes, decretos, jurisprudencia, etc.) es un obstáculo, esto sin contar que todas estas reglamentaciones van aumentando sin cesar. Por tanto, un sistema experto dispuesto para abordarlas ha de ponerse constantemente al día. Finalmente, poca cosa hay disponible para el gestor económico, siempre muy motivado y con medios para invertir seriamente en un sistema experto. Por todas estas razones, las realizaciones son todavía poco numerosas. Mencionemos, sin embargo, un importante proyecto inglés (6,5 millones de libras esterlinas) destinado a la reglamentación de la salud y de la seguridad social, que ha dado ya que hablar, a la vez que ha provocado vivas reacciones por parte de los sindicatos de la función pública británica. He ahí otro posible freno a la introducción de los sistemas expertos en las oficinas: se trataría menos de hacerlo mejor que de hacerlo más aprisa y, por consiguiente con menos personal.

Menos espectacular que la medicina o las finanzas, y en consecuencia mucho menos citado, el sector de la producción podría muy bien ser en los años venideros el que aceptara los sistemas expertos no como una cosa trivial, pero sí corriente. Desde su diseño hasta su mantenimiento, productos industriales tan diversos como una locomotora, un sistema de navegación aérea, un circuito integrado o un turboalternador, pasando por productos destinados al gran público, como la caja de velocidades de un automóvil o un televisor, proporcionan muchos –y excelentes– pretextos para el desarrollo de sistemas expertos. Los grupos industriales más importantes, empezando por los del sector de la energía, aeroespacial, electrónica, informática y telecomunicaciones han sido los primeros en comprender todo lo que los sistemas expertos podrían aportar, en tanto que permiten la difusión y la multiplicación de una serie de conocimientos difíciles de encontrar y de elaborar.

Si se toma desde el principio el ciclo de producción de un artículo determinado, se verá que el diseño es la primera fase en que un sistema experto puede demostrar su utilidad. El circuito integrado es el ejemplo más típico. Cada vez es más complejo –se ha sobrepasado ya el millón de transistores en una plaqueta– y ya no es pensable diseñarlo sin la ayuda de programas CAO (concepción asistida por ordenador). A ellos

índice analítico

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

DE EDITORIAL FONTALBA

volumen 6

MUNDO CIENTÍFICO - Editorial Fontalba, S.A. - Valencia, 359 - 6.º – Tels. 258 55 07/08 - 08009 Barcelona (España)

Índice analítico

● Las cifras en negrita corresponden al número de la revista.

Astronomía, cosmología, espacio

Arqueología, paleontología

Biología, medicina

Ciencias físicas y matemáticas

Ciencia y sociedad

Ecología, medio ambiente

Historia y filosofía de las ciencias

Política científica

Química, química-física

Tecnología, informática e industria

Índice de autores

se añaden, a veces, unos programas de optimización que nada deben a la inteligencia artificial, sino que se basan en métodos puramente numéricos. Su utilidad es innegable, pero los cálculos más complejos no sustituyen la intervención del diseñador, que sigue siendo un elemento preciso en la gestación de un milagro, como el hecho de dividir por dos en un año la superficie de un circuito. La idea de acumular unos conocimientos así en la base de conocimientos de un sistema experto es ya antigua pues, en la industria electrónica.

Pero, una vez más, la importancia del reto no disminuye las dificultades, que deben ser grandes, puesto que todavía no se ha dado a conocer ningún resultado decisivo.

El proyecto Vedex-Leap, desarrollado por Tom M. Mitchell en la universidad Rutgers (New Jersey) es, dentro de esta categoría, uno de los más prometedores, ya que se trata de realizar un sistema capaz de aprender progresivamente –y sin la ayuda de los informáticos– las reglas del arte directamente de los diseñadores. Precisamente a causa de su carácter ambicioso y porque depende, en parte, de un progreso de tipo teórico, no hay que esperar que sea operativo en breve plazo.

Pero sin esperar los resultados espectaculares procedentes de los sectores «punta», ya se está trabajando en proyectos de sistemas expertos pensados para aplicaciones más modestas. Existe un marcado interés por las tarjetas electrónicas, pero también por los dispositivos mecánicos. Un interesante ejemplo es el de Motor Brush Designers de Delco, que se contenta con ayudar al diseño de algunas piezas de motores eléctricos (en la primera versión, se trata de las «escobillas» que conducen electricidad al rotor). Se trata, indudablemente, de una aplicación modesta, pero plenamente operativa, que prefigura la generalización de sistemas que facilitan el diseño rápido y optimizado de piezas sueltas de un mismo tipo en función de un pliego de condiciones. Realizaciones como esta podrían llegar a ser centenares.

Algo más ambicioso es un sistema que están desarrollando los laboratorios de Marcoussis de la Compagnie générale d'Electricité (CGE) basado también en la ayuda al diseño (fig. 5). El Cadoo está especializado en la asignación de



Figura 4. La reparación de instalaciones industriales está destinada, en opinión de muchos especialistas, a convertirse en uno de los grandes sectores de aplicación de los sistemas expertos. Esta función representa una parte cada vez mayor de los efectivos de las empresas industriales, y hay crecientes dificultades en formar personal al ritmo impuesto por la evolución de las técnicas. El centro de soldadura de Saint-Marcel (Saône-et-Loire) de la firma Framatome pone regularmente a punto nuevos procedimientos de soldadura destinados a las distintas unidades de producción de la empresa. El empleo de un sistema experto que funciona con un microordenador (visible en segundo plano) permite adquirir, junto con la instalación, una competencia en averías por parte de los propios usuarios, lo que puede evitar el desplazamiento de un especialista en los casos difíciles. (Foto Framentec.)

espacio, un problema que se presenta en el diseño de muchísimos productos, aplicado en una primera fase a la sala de máquinas de los buques. Se trata de colocar un determinado número de grupos propulsores, bombas, turboalternadores y otras unidades funcionales en una superficie dada, pero respetando un conjunto de limitaciones: X ha de estar próximo a Y, que debe hallarse en el eje de Z... Los especialistas tienen sus fórmulas para obtener resultados satisfactorios y ningún método numérico puede presentarse como un competidor serio. Se trata, pues, de formalizar aquellas fórmulas e introducirlas en una base de conocimientos. Iniciado a comienzos de 1985, este proyecto debería llevar muy pronto a una primera serie de ensayos en la firma Ateliers Chantiers de Bretagne.

La «configuración de sistemas» es otra faceta del diseño, y la configuración de instalaciones informáticas es el ejemplo típico. Se trata, en este caso, de elegir en un catálogo diversos subconjuntos, módulos y opciones (en el caso de la configuración de ordenadores: unidades centrales, memorias, periféricos, controladores, armarios, alimentaciones, etc.) y reunirlos para realizar una instalación especial respetando un pliego de condiciones determinado. La informática no se ha privado de servirse a sí misma, y los fabricantes de ordenadores parecen haber hecho de este problema un banco de pruebas del comportamiento de sus equipos de inteligencia artificial, al tiempo que un escaparate de su dominio de esta disciplina. Digital Equipment fue la pionera al lanzar, hace ya ocho años, un proyecto que condujo al sistema Xcon. A ésta han sucedido como más importantes el Spec de Bull, el Dragon de ICL, el Ocean de NCR, el Conad de Nixdorf...

Diseñar más rápidamente un mejor producto es una manera de ganar dinero gracias a un sistema experto; repararlo aprisa y bien es otro. Aquí se aborda, quizás, el campo por antonomasia del sistema experto: el diagnóstico técnico. Los sistemas pueden limitarse a indicar la causa más probable de una avería según los síntomas descritos, pero también es frecuente que guíen al operario a lo largo de su trabajo. General Electric ha abierto el camino con el Cats, experto en averías de motores diesel de locomotoras.

Actualmente, las realizaciones de este tipo se cuentan por docenas, y están en diversas fases de progreso técnico. El AI-Spear, de Digital Equipment Corp., detecta las averías sobre lectores de banda magnética de ordenadores; el Cooker Expert permite reparar rápidamente los esterilizadores en las cadenas de Campbell Soup Co.; diversos sistemas realizados a partir del programa genérico In-Ate, de Automate Reasoning Corp., sirven para reparar circuitos eléctricos o dispositivos mecánicos.

La aplicación típica: el diagnóstico

En Francia, los ejemplos no faltan. Los laboratorios de Marcoussis de la CGE desarrollan un sistema genérico de detección de averías y mantenimiento denominado Flag, que se ha aplicado ya a la reparación de sistemas de navegación en el avión Mirage. Cap Sogeti Innovation ha realizado con Renault un sistema de diagnóstico de averías y de reparación para la caja de velocidades automática del R 25 GTX. Framentec ha desarrollado para Framatome, su accionista, un sistema de reparación de instalaciones de soldadura (fig. 4), que ya está instalado en su lugar de trabajo desde noviembre de 1985, en el centro de soldadura de Saint-Marcel (Saône-et-Loire).

Prosigamos con las instalaciones industriales: los laboratorios de Marcoussis de la CGE –este grupo industrial posee el equipo francés más potente de investigación industrial en sistemas expertos, que cuenta actualmente con unos treinta ingenieros– una vez más se han comprometido desde hace un año con Alsthom y Electricité de France (EDF) es un gran proyecto referente a turboalternadores de centrales eléctricas. Es sabido que cada día de paso de estas instalaciones pesadas representa considerables pérdidas para las compañías. Por consiguiente, son auscultadas por numerosos sensores, especialmente en lo que se refiere a vibraciones, que dan unas informaciones que se anotan en grandes cuadros de control y quedan permanentemente registradas. Una vibración anormal es señalada inmediatamente y, a continuación, un «experto» analiza los registros que puedan explicar el fenómeno. Este trabajo de interpretación y diagnóstico supone una gran experiencia, que diez ingenieros están recogiendo de los expertos, para proceder luego a su formalización. A su debido tiempo, el sistema Diva deberá imitar el método seguido por los expertos. Aunque no los sustituirá, sí les permitirá de alguna manera estar alerta antes de la alarma, con lo que se facilitará una detección precoz de los defectos y, por consiguiente, una mejora del mantenimiento preventivo.

El control de procesos

El control de procesos es también otro tipo de aplicación de los sistemas expertos en el mundo industrial. No se trata, en este caso, de explicar el origen de una avería, sino de ayudar al control en tiempo real de una instalación que puede ser, por ejemplo, un tren de laminación o una columna de destilación. El tratamiento de las alarmas forma parte de las tareas que hay que tener en cuenta, pero también de la regulación del proceso en situación no extrema, que tiene por objeto el mantenimiento de ciertos parámetros alrededor de sus valores óptimos. Un sistema experto ya facilitará mucho la labor de los especialistas que vigilan estas instalaciones mediante el análisis continuo de los múltiples datos procedentes de las salas de control y la elaboración, a partir de estos datos, de un tablero de a bordo sintético. En situación de crisis, cuando docenas de pilotos rojos se encienden al mismo tiempo, podrá distinguir las causas y las consecuencias y ayudar al controlador humano a determinar con rapidez el origen del problema.

Un caso especialmente delicado es el del control de una central nuclear, estudiado en Francia por EDF, el Comisariado de la energía atómica (CEA) y su filial Cisi. Por otra parte la firma Itmi, de Grenoble, especializada en aplicaciones industriales de la inteligencia artificial, ha desarrollado un sistema de supervisión de procesos industriales, llamado Pilotex, que debería ser puesto a disposición de su accionista Péchiney. También en Francia, la firma Graphaël propone el producto Picon, ya utilizado en Estados Unidos por Exxon, Kodak y Bell. El sistema de tratamiento de alarmas Extase, desarrollado en Marcoussis, está ya instalándose en su lugar de destino. En su primera aplicación será el encargado de vigilar una columna de destilación al vacío.

Se estudia también la introducción del sistema experto en la fábrica en otras múltiples formas. La ordenación de un taller realizada, por ejemplo, por el sistema Soja de la CGE, en un taller de planchistería de Alsthom Atlantique, es un ejemplo entre otros muchos. Este sistema está dedicado a optimizar la ocupación de un parque de máquinas con las cuales ha de fabricarse un conjunto de piezas diferentes. Cada una de ellas ha de pasar por una secuencia de operaciones especiales y el problema consiste en evitar los embotellamientos y los tiempos muertos. De manera general, la gestión de producción es una tarea que, previsiblemente, podrá confiarse a los sistemas expertos.

La electrónica, la electrotécnica y la mecánica son los polos tecnológicos sobre los que se está realizando el mayor número de sistemas expertos para producción. Pero también se trabaja en otros campos de aplicación, como la química, la geología e incluso la agronomía. La química fue el banco de pruebas del sistema experto, ya que fue precisamente al desear la mejora de un gran programa de ayuda a la identificación de moléculas, cuya primera versión databa de 1964, cuando un equipo de la universidad de Stanford (Edward A. Feigenbaum, Bruce G. Buchanan y sus colaboradores) acabó por definir su principio a comienzos de 1970. Así nació el antepasado de los sistemas expertos, el Dendral, que interpreta datos de varios tipos procedentes, por ejemplo, de un espectrómetro de masas, para

formular hipótesis sobre la estructura de una molécula orgánica.

El Dendral ha sido mejorado varias veces y se usa habitualmente en los laboratorios. Le han seguido otros. El propio B.G. Buchanan prosigue sus investigaciones en esta dirección y ha lanzado el proyecto Protean, cuya finalidad es un sistema capaz de sugerir la estructura tridimensional de proteínas a partir de datos obtenidos por resonancia magnética nuclear y hacerlo después de haber adquirido –por sí mismo– de los propios usuarios los conocimientos que utilizará. Un laboratorio de la firma Philips establecido en Hamburgo ha realizado en el mismo orden de ideas un sistema denominado Expertise, para la interpretación de espectros en el infrarrojo. Han sido abordados también otros tipos de aplicación dentro del campo de la química, especialmente la simulación de reacciones y la definición de secuencias de reacciones necesarias para sintetizar una molécula. Asociadas a las técnicas más tradicionales de CAO que permiten visualizar moléculas en tres dimensiones, los sistemas expertos deberían provocar una evolución en la ingeniería química en la misma dirección que la mecánica o la electrónica, sectores en los que cada vez se trabaja más tiempo sobre modelos numéricos antes del primer contacto con la materia. La geología es otra ciencia que muy pronto entró en contacto con el fenómeno sistema experto. El Prospector (Stanford Research Institute) ha sido citado innumerables veces por haber «descubierto» en 1982 –aunque no falta quien dice que la cosa no fue tan difícil– un yacimiento de mineral de molibdeno hasta entonces desconocido. Tampoco la industria petrolera ha permanecido inactiva. Este tipo de solución le interesa tanto para la prospección como para el seguimiento de los sondeos o la explotación. Así, Dipmeter Advisor, desarrollado por Schlumberger con el Massachusetts Institute of Technology, analiza señales de los datos físicos del subsuelo para determinar su estructura. El prototipo Secofor, realizado por Elf Aquitaine con la firma norteamericana Teknowledge, da sus consejos en el transcurso de los sondeos, especialmente para prevenir y remediar un eventual atascamiento. Finalmente, el Sarah, que actualmente se está desarrollando en el Instituto francés del petróleo, ha sido diseñado para ayudar a la elección de un procedimiento de recuperación asistida de hidrocarburos cuando no ascienden de manera natural.

No siempre los sistemas expertos están encerrados en fábricas o en oficinas de estudios; también se encuentran en el campo. Unos casos muy originales de aplicación a la gestión de producción se hallan en la agricultura. El ejemplo del sistema norteamericano Comax es tanto más interesante cuanto que su rendimiento ha podido ya ser apreciado. El

A

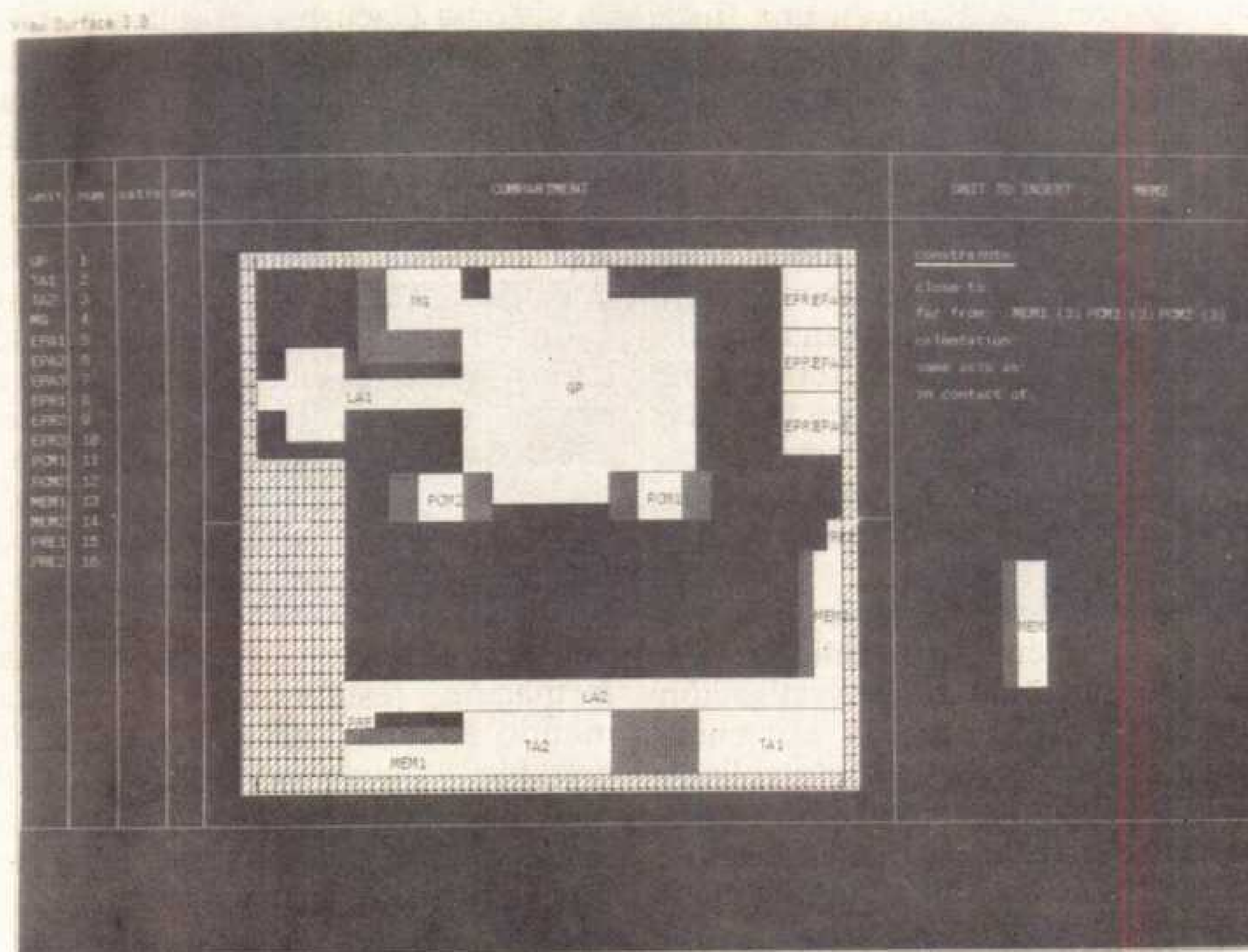


Figura 5. Algunos elementos, como grupos propulsores, bombas y alternadores, han de ser instalados en la sala de máquinas de un buque (B), respetando ciertas limitaciones: x ha de estar alejado de y, el cual, a su vez, ha de quedar situado en el eje de z... Los ingenieros especialistas tienen sus fórmulas para obtener en un tiempo razonable, la solución satisfactoria de este problema de emplazamiento. *Simulando su método de trabajo, el sistema experto Cadoo (A), desarrollado en los Laboratorios de Marcoussis, hace lo mismo y simplifica su trabajo. (Fotos Laboratorios de Marcoussis.)*

B



Al sistema experto no le basta ser técnicamente realizable y económicamente rentable.

Comax es un especialista en la recolección de algodón. Instalado en una finca del delta del Mississippi, sus propuestas se han seguido al pie de la letra en una parte de la superficie cultivada. *A posteriori*, ha podido calcularse que si hubieran sido respetadas en el conjunto de la producción sus recomendaciones referentes a la distribución de abonos, hubiera podido obtenerse una ganancia de 120 dólares por hectárea de terreno. El propietario hubo de reconocer también que si hubiera empezado la cosecha en la fecha propuesta por el Comax, hubiera aumentado sensiblemente la producción total.

Siempre del campo agrícola, hay que mencionar también otras realizaciones. El Instituto nacional de investigación agronómica (INRA), con la asistencia de la firma Cognitech, ha desarrollado una serie de sistemas expertos en patología vegetal. El primero, el Tom, cuya especialidad son las tomateras, explota actualmente un videodisco para ilustrar las preguntas mediante fotografías que presentan unos síntomas típicos. Hay más de veinte sistemas en diversas fases de realización; sus bases de conocimientos se refieren a varios cultivos hortícolas (cucurbitáceas, berenjenas, pimientos) y frutícolas, así como la vid, la patata, los cereales y otros más... Uno de los objetivos es que estos instrumentos, por medio de un sencillo minitel, estén a disposición de los agricultores, quienes podrían tomar unas decisiones que ya desde los primeros síntomas habrían quedado perfectamente justificadas, con lo cual se evitaría la visita de un especialista.

No puede pensarse en aplicaciones de los sistemas expertos sin abordar las que afectan al campo militar. Pero –y no hay que asombrarse por ello– el sector de aplicación más importante, al menos desde el punto de vista financiero, es también el más desconocido. Dejando aparte las generalidades, las informaciones disponibles son muy fragmentarias, especialmente en Francia. En Estados Unidos, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) habrá gastado oficialmente 60 millones de dólares para la inteligencia artificial durante el año 1986. Actualmente están en estudio bajo contrato para esta agencia un gran número de sistemas expertos, repartidos en los once subprogramas de investigación en inteligencia artificial que están llevándose a cabo simultáneamente. Ayuda al mando, reconocimiento de blancos, asistencia al pilotaje y control de vehículos autónomos son las orientaciones más espectaculares que se da a estas investigaciones. Pero todo parece indicar que los estudios que hoy se realizan sobre todos estos temas no se harán realidad a corto plazo, al menos en sus formas más ambiciosas.

Se han mencionado algunos prototipos, sin que sea posible, sin embargo, valorar su grado de desarrollo ni su alcance. La firma TRW ha descrito así su sistema Dacorr, que aplica el *«Battlefield Management»* («gestión del campo de batalla»), según la terminología del Pentágono. Su misión sería integrar los datos procedentes de diversas fuentes de información sobre las fuerzas contrarias (escucha electrónica, sistemas de detección, medios de reconocimiento...) a fin de presentar un balance sintético de las fuerzas presentes y preparar escenarios de maniobras. La expresión «análisis de la amenaza» aparece a menudo. Se trata de detectar, clasificar y localizar todos los móviles que rodean una posición o una construcción, a partir de datos de diversos orígenes (radar, detector, infrarrojo, sonar, etc.). La información resultante se presenta al mando en una forma fácilmente interpretable, y puede servir para identificar, con los medios de defensa apropiados, las eventuales amenazas. En Francia, por ejemplo, la firma Syseca trabaja ya para la marina en un estudio de este tipo. Más que en ningún otro sector, en los grandes proyectos militares el sistema experto sólo suele ser un eslabón integrado en un dispositivo mucho más complejo en los aspectos físico y lógico. El sistema del centro de mando de la flota del Pacífico, proyectado por la DARPA, debería de incluir cinco sistemas expertos distintos, conectados a otros varios elementos (bases de datos, sistemas de comunicación, de visualización, etc.).

Digamos, finalmente, que si los militares están ansiosos de disponer de sistemas expertos es, en parte, porque también tienen –ellos y sus industriales– los problemas del hombre de la calle. Desean optimizar (por ejemplo, el cargamento de un avión, con el AALPS en el ejército de Estados Unidos), diseñar (armas, etc.) o diagnosticar averías (tanto en un lanzamisiles como en un elemento aeroespacial).

No acabaríamos nunca de citar los sectores a los que pueden aplicarse los sistemas expertos. ¿Habría que añadir la previsión de la niebla (LRI de Orsay y Meteorología nacional) y de las avalanchas (Imag, de Grenoble, y Centro de estudios de la nieve)? ¿El control del la curación del gruyère (Instituto francés de este queso) o la prescripción de regímenes dietéticos (Nutritional Management Inc., de Boston)? ¿Hay que deducir de esta abundancia de aplicaciones en todos los campos que el sistema experto obra maravillas allí donde interviene y que cualquier sistema que se emplee para tomar decisiones puede ser imitado por el ordenador? Nadie puede ser tan categórico. La corta experiencia acumulada hasta este momento demuestra que una selección se efectúa siempre sobre la fase de múltiples criterios: en primer lugar, técnicos y económicos, y en segundo lugar sociales, psicológicos o, sencillamente, prácticos.

El estado de esta tecnología no permite abordar todos los tipos de conocimientos ni de razonamientos. Los especialistas empiezan a sentirse cómodos cuando se les presenta unos sistemas físicos regidos por un determinismo de buena ley y por reglas más numerosas que sus excepciones. Parece que pisan huevos si los «excepto» y otros «a menos que» son la ley, o cuando, por ejemplo, el tiempo que transcurre interviene en el asunto. En resumen, la lógica humana está lejos de poder ser reducida a fórmulas. La captura de los conocimientos de los especialistas no es nunca un juego de niños ya que, al igual que los icebergs, en la conciencia de los expertos dichos conocimientos sólo suelen mostrar la punta de su nariz. Las evidencias han de darse a luz con fórceps (véase el artículo de Jean-Gabriel Ganascia, «La concepción de los sistemas expertos» en nuestro número especial «Inteligencia artificial», de diciembre de 1985).

Aunque la técnica se halle al nivel necesario, hay que pensar si el juego vale la pena. Diez ingenieros durante tres años representan una inversión realmente importante, pero puede resultar altamente rentable si se trata de minimizar los costes de mantenimiento de turboalternadores de centrales eléctricas y de evitar las pérdidas que se producen en caso de paro. Cien mil dólares (es el precio del Financial Advisor) es mucho dinero y sólo quedaría justificada su inversión si pudieran convertirse en 110 000 en la cuenta a consecuencia de una mejor gestión en la tesorería de una empresa. Pero, aunque hay mucho por ganar, si nadie quiere adelantar los fondos necesarios, nada puede hacerse. Realizar un sistema experto es muy caro: hay que contar en años y en hombres bien pagados, ya que el producto no es corriente. No existe ninguna receta milagrosa, pero la productividad de los equipos va mejorando poco a poco. Como ha ocurrido en otras tecnologías, la de los sistemas expertos sólo progresivamente irá descendiendo de los «sectores de punta» hacia los más ordinarios.

Y, finalmente, el hecho de confiar a una máquina aunque sólo sea una pequeña parte de un saber y tener que reconocerle la pequeña parte que de él aprovecha no puede dejar de plantear problemas de tipo social y psicológico. Todavía no se han levantado barricadas contra ella, ni se ha estimagmatizado a estos expertos electrónicos que se comerían el pan de los humanos, pero quizás alguna vez se pensará hacerlo. Hay que decir, como de costumbre, que la tecnología propone y la política económica dispone de las plusvalías derivadas de cada invento generador de un exceso de productividad. No será, sin duda, un sistema experto el que nos dé la fórmula para que el progreso técnico no provoque nunca más un rechinar de dientes.[4] ■

(4) Para una bibliografía más completa véase la página 112.

colección Ciencias

NOVEDAD

SEDUCIDA POR LO VIVO

Vida y obra de Barbara McClintock

Evelyn Fox Keller

Reflejo de la vida de una mujer notable. *Seducida por lo vivo: Vida y obra de Barbara McClintock, premio Nobel de Fisiología y Medicina 1983,* es un expresivo retrato de una de las genetistas más señaladas de este siglo. Durante cincuenta años una de las investigadoras norteamericanas de más relieve, Barbara McClintock siguió un rumbo muy apartado de la corriente principal. Sus extraordinarias investigaciones con el microscopio le llevaron al descubrimiento de la transposición genética y a la inferencia de que los genes se reorganizan en el curso del desarrollo.

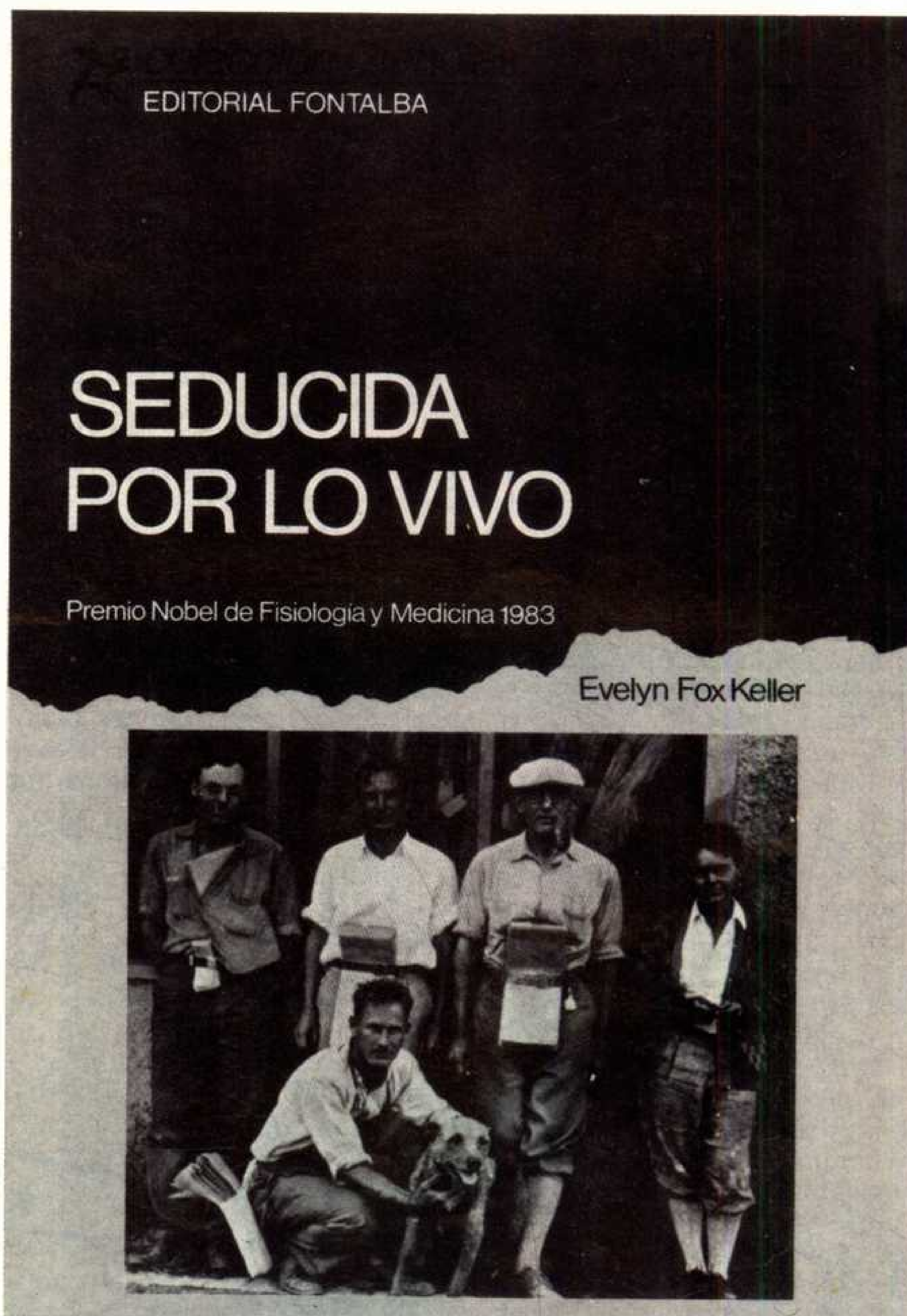
La originalidad del libro de la fisicoteórico y biólogo molecular Fox Keller, radica en no presentarnos un libro científico sobre la teoría de la transposición, ni una mera biografía, sino un recorrido a lo largo de la vida profesional de Barbara McClintock, profundizando en las bases de su actitud ante la Ciencia.

Acreditada hoy con el reconocimiento mundial por sus trabajos, McClintock ha merecido recientemente distinciones tan preciadas como el Albert and Mary Lasker Award, el MacArthur Laureate Award, y corolario justo, el premio Nobel de Medicina y Fisiología de 1983.

Formato: 14 x 21
Páginas: 217
Fotografías e ilustraciones
P.V.P.: 950 ptas.

SOLICÍTELO CONTRARREMBOLSO

Barbara McClintock
Premio Nobel de Fisiología y Medicina 1983



Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 - 6.º
08009 BARCELONA (ESPAÑA)

¿Cómo hacer un vidrio a la vez grueso, transparente e incoloro?

Las cristaleras de la pirámide del Louvre

La pirámide que albergará el acceso al Gran Louvre tendrá una altura de 21 metros. Sus cuatro caras triangulares, que se apoyarán en un cuadrado de 34 metros de lado, estarán divididas en rombos de unos 2,90 m × 1,80 m y presentarán una superficie de 1.800 m^2 de cristales. Esta obra cuya terminación está prevista para finales de 1987, será excepcional de una parte por su forma y por el lugar prestigioso que ocupará, y de otra, por su gran transparencia. Esta transparencia, querida por los arquitectos I.M. Pei & Partners, ha planteado un desafío a la industria del vidrio. Se alcanzará no sólo gracias a la calidad de éste, sino también a la esbeltez de la estructura metálica que lo sostiene. La misma ligereza del armazón complica el problema del cristal. En efecto, dado que su peso contribuye a la estabilidad del edificio, el cristal será muy grueso: dos láminas de vidrio de 10 mm unidas por una lámina de polivinilbutiral (el polímero que se emplea como «intercalado» en los cristales de seguridad, los parabrisas de los automóviles, por ejemplo). Evidentemente, cuanto más grueso es un cristal más exigente se tiene que ser respecto a la transparencia y al color residual del vidrio que lo compone: para un grosor de 20 mm el vidrio normalmente utilizado en la construcción es ligeramente verdoso. Para continuar como proveedor de las cristaleras del Establecimiento Público del Gran Louvre, Saint-Gobain ha tenido que resolver el doble problema de la transparencia y del color.

Las dos nociones de transparencia y de color pueden cunatificarse gracias a la colorimetría, la técnica de la medida del color cuyos convenios básicos datan de 1931. Como la percepción del color varía con la iluminación, la Comisión Internacional de Iluminación (CII) definió entonces los «iluminantes» tipo, en particular el de la luz del día, así como la sensibilidad media del ojo humano.

La transparencia se mide por medio de una escala de «luminancia» definida como el tanto por ciento de la estimulación visual producida por la luz incidente transmitida por el cristal. Incluso cuando el vidrio es delgado y perfectamente incoloro, el 4 % de la luz incidente es reflejada y enviada al exterior por cada cara, de modo que la luminancia máxima posible de un cristal sencillo (y sin tratamiento antirreflejos) es del 92 %. El color puede definirse por la longitud de onda, que se llama dominante, correspondiente al color de la luz llamada «pura», que mezclada con la luz blanca, produce el color en cuestión. Este concepto de mezcla de luz de un color puro con la luz blanca hace posible la definición de la «pureza» del color: es la fracción de la luz de color en la mezcla. Por tanto, la pureza es el tercer parámetro proporcionado por la colorimetría, además de la luminancia y la longitud de onda dominante.

En el caso presente, el objetivo es evidentemente una luminancia máxima combinada con una ausencia total de color (una pureza nula). Para fijar las ideas, un cristal clásico de 6 mm posee en general una luminancia (Y) del 89,5 %. Su color, definido por la longitud de onda dominante (λ_d) de 513 nm, se sitúa en la parte verde del espectro, y su pureza (P) es del 0,36 %. Para un grosor de 20 mm, resulta $Y = 84$ %, $\lambda_d = 511$ nm y $P = 1,18$ %. Un cristal como éste sería perceptible, más por su color que por su falta de transparencia. Se pueden citar, como comparación, los grandes ventanales de la Maison de la Radio en París, que aparecen ya un poco verdes con un grosor de 10 mm (grosor para el que la pureza es del orden del 0,6 %).

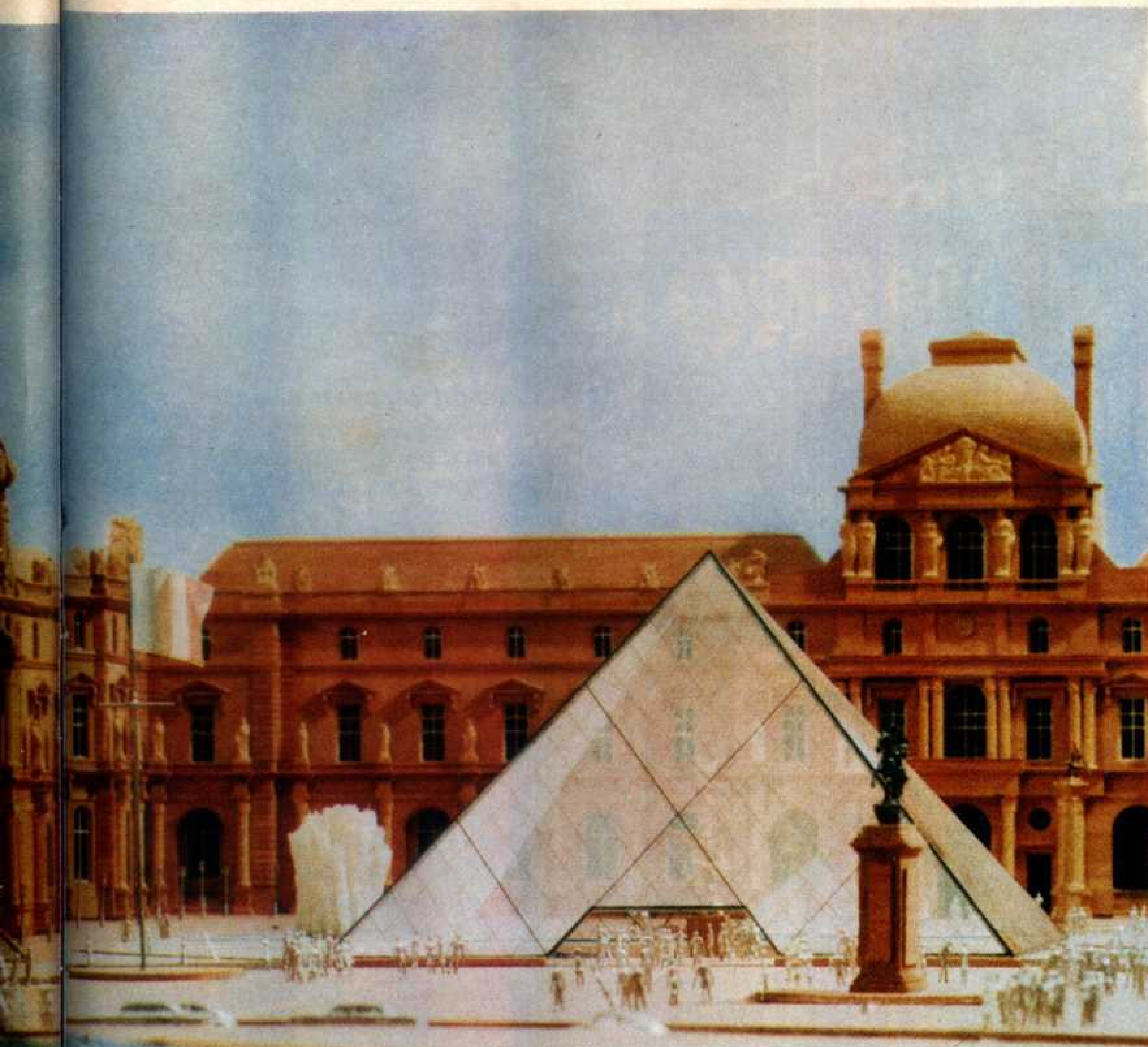
La fabricación de un cristal transparente e incoloro...

El origen del color de los vidrios es bien conocido. En efecto, cuando un vidrio absorbe luz visible, es raro que la absorción sea uniforme para todo el espectro (se trataría en este caso de un vidrio incoloro, eventualmente gris). Normalmente, algunas bandas de longitudes de onda son más absorbidas que otras. En el caso del vidrio para cristales, la absorción se debe al hecho de que el vidrio contiene aproximadamente 800 ppm de óxidos de hierro, de los que aproximadamente una cuarta parte están en el estado ferroso (Fe^{2+}) y el resto en el férrico (Fe^{3+}). Y el ion ferroso es responsable de la absorción de luz roja, mientras que el ion férrico absorbe débilmente en el otro extremo del espectro visible. Por consiguiente, un vidrio que sólo contuviese hierro ferroso sería azul (color complementario del rojo), mientras que el hierro férrico sólo produciría una coloración amarilla. La coloración verde habitual resulta de la presencia simultánea de las dos especies.

Los óxidos de hierro son aportados por las materias primas, todas ellas (con excepción del carbonato de sodio) productos de cantera: arena, dolomita, caliza y feldespato. Sin embargo, el vidrio «blanco» existe, incluso en forma de objetos poco costosos. Se ven en las tiendas cubiletes cuyo fondo grueso es prácticamente incoloro y muy poco absorbente. ¿Cómo se llega a este resultado? ¿Por qué no utilizar el mismo método para fabricar un cristal tan blanco como el de los cubiletes o los frascos de perfumería?



En primer lugar, se elige las materias primas que contengan menos óxidos de hierro. Hay calidades de arena, caliza y feldespatos que permiten la elaboración de vidrios en los que el nivel de esta impureza es inferior a 250 ppm. Sin embargo, incluso este vidrio es verdoso cuando es muy grueso, y se tiene que efectuar lo que se llama una «decoloración». Esta técnica comporta normalmente una parte química y una parte física. La primera se basa en el hecho de que la absorción de la luz visible por los iones ferrosos es mucho más intensa que la producida por una concentración igual de iones férricos. Interesa pues incorporar al vidrio un óxido susceptible de transformar el Fe^{2+} en Fe^{3+}. En la práctica se utiliza uno de estos tres óxidos: óxido de arsénico, de antimonio o de cerio. Se produce entonces (verosímilmente por un desplazamiento del equilibrio químico durante el enfriamiento) una reacción del tipo $As^{5+} + 2\,Fe^{2+} \rightarrow As^{3+} + 2Fe^{3+}$. La coloración azul debida al Fe^{2+} es así remplazada por la coloración amarilla del Fe^{3+} mucho más pálida. Para hacer desaparecer el color residual se practica una decoloración física cuyo objeto es reequilibrar el espectro de la luz transmitida. Como el Fe^{3+} absorbe una parte de la luz azul, se añade cobalto, absorbente del rojo, y selenio elemental que absorbe una parte del verde: el vidrio obtenido es entonces incoloro. Se ve, pues, que la decoloración química aumenta la luminancia y disminuye la pureza y no puede eliminar totalmente el color residual. La decoloración física tiene que llevar la pu-



Las cristaleras de la pirámide del Louvre han planteado un desafío a la industria del vidrio; éste tenía que ser a la vez grueso, transparente e incoloro. Para reunir todas estas cualidades, Saint-Gobain ha tenido que fabricar un vidrio especial. La pirámide, cuya maqueta se ve aquí, estará terminada a finales de 1987. (Foto. I.M. Pei & Partners.)

reza prácticamente a cero, al precio de una ligera disminución de la luminosidad.

Pese a que se sabe fabricar vidrio blanco a partir de materias primas accesibles, hay dos razones por las que no se puede transponer esta técnica para la elaboración de los cristales de la pirámide. La más importante es la de la inadaptación de los grandes útiles de producción; la segunda es una reserva de prudencia relativa al envejecimiento por el Sol del vidrio decolorado químicamente. En efecto, por influencia de la radiación ultravioleta natural, los iones As^{3+}, Sb^{3+} y Ce^{3+} pueden liberar electrones que producen coloraciones al insertarse en la estructura del vidrio.

...es un verdadero desafío técnico

El vidrio para cristales se fabrica en general por el procedimiento *float*, inventado hace veintisiete años. Esta técnica de fabricación se caracteriza por la utilización de un largo baño de estaño fundido. Por un extremo se vierte continuamente el vidrio fundido sobre el metal, por el que se extiende para formar una cinta que tiene sus dos caras pulidas y paralelas. Se tira de él hacia el otro extremo permitiéndole enfriarse, y se extrae la cinta sin fin de más de 3 mestros de anchura de vidrio solidificado que ha adquirido definitivamente por sus dos caras la planitud característica del estado líquido. La gran sencillez de este método ha hecho posible la construcción de grandes unidades de fabricación alimentadas por hornos que producen unas 800 toneladas de vidrio diarias (o 30.000 m^2 con un grosor de 10 mm).

En estos hornos, el vidrio está contenido en una cubeta de algunos centenares de metros cuadrados y alrededor de un metro de profundidad. Se calienta por las llamas inyectadas entre la superficie del baño y una bóveda de sílice cuya temperatura puede alcanzar 1.600 °C. Si el consumo energético del horno sólo es de un centenar de toneladas de gasóleo al día, se debe en parte a los aislantes térmicos aplicados especialmente en el fondo de la vasija. Esta calorifugación podría parecer una precaución elemental pero en realidad se construye con cuidado e implica cálculos precisos.

Para simplificar, supongamos un fondo con dos capas: la primera, compuesta de baldosas refractarias resistentes al vidrio fundido, con el que están en contacto, y con una buena conductividad térmica debida a su densidad; la segunda, compuesta por baldosas aislantes, menos caras, que no resisten al vidrio fundido. Se tiene que calcular el grosor de las dos capas de modo que la temperatura de la interfase vidrio-refractario no supere la compatible con un desgaste aceptable del horno y que la temperatura en la interfase de las dos capas no supere nunca la temperatura a la que el vidrio se solidifica por cristalización, para que éste no penetre en la capa de aislante.

En este cálculo no sólo se tienen que tener en cuenta las conductividades térmicas del refractario y del aislante sino también la conductividad del baño de vidrio. Pero la conductividad del vidrio a alta temperatura es principalmente una conductividad por radiación. Aumenta pues con su transparencia y, por consiguiente, cuando disminuye el contenido de óxidos de hierro. Es particularmente sensible a la presencia de iones Fe^{2+}, que absorben energía en una ancha banda centrada en la longitud de onda de una micra en el infrarrojo. (Esta banda, que se extiende hasta las longitudes de onda visibles, es la responsable de la coloración típica del hierro ferroso que ya hemos mencionado). Por tanto, el contenido en óxidos de hierro del vidrio, cualquiera que sea la fábrica o el país, se sitúa en torno a 800 a 1.000 ppm, ya que la coloración que produce para gruesos de cristales normales no es molesta y corresponde a la calidad de las materias primas que se pueden encontrar y explorar rentablemente en cantidades suficientes.

De ahí, que el grosor del aislante de un horno que alimente un *float* moderno esté calculado para un contenido en óxidos de hierro en el vidrio de 800 ppm como mínimo. Disminuyendo un poco la temperatura de funcionamiento del horno (y por tanto, la producción), se puede funcionar con 500 ppm de hierro en el vidrio. Para contenidos más bajos, hay peligro de sobrecalentamiento y de deterioro del fondo del horno por desgaste y por infiltración. Habría pues una incompatibilidad latente entre la transparencia buscada en el caso de la pirámide y las instalaciones de producción industrial existentes, al menos en lo que respecta al método *float*.

Existe otro método de producción de vidrio para cristales: el laminado, especialmente por el procedimiento Foucault, inventado hace ochenta y cuatro años. La técnica consiste en estirar verticalmente la hoja a partir de un baño de vidrio en estado viscoso. Aquí, las dos superficies están libres y su planitud está peor definida que la de la cinta *float*. El resultado es una calidad óptica que no sería suficiente para la pirámide. Pero, hay otra posibilidad, que es una consecuencia de la estrategia de Saint-Gobain en el campo de la fusión eléctrica del vidrio.

El vidrio es conductor de la electricidad a alta temperatura, y en un horno eléctrico se calienta por el paso de una corriente introducida por medio de electrodos de molibdeno que atraviesan el fondo de la cubeta. El interés a largo plazo de esta técnica es suprimir los inconvenientes del calentamiento con gasóleo o gas y aprovechar la electricidad de origen nuclear. A más corto plazo permitirá la construcción de cadenas de producción *float* para la fabricación en pequeña escala de vidrio especiales, incluidos vidrios muy transparentes. En efecto, el fondo de este tipo de horno no está especialmente calorifugado: al producirse directamente el

Cristales del palacio de Versalles en la pirámide del Louvre.

calor en la masa de vidrio, la temperatura de la interfase vidrio-refractario depende principalmente de la potencia eléctrica empleada y menos de la transparencia del vidrio.

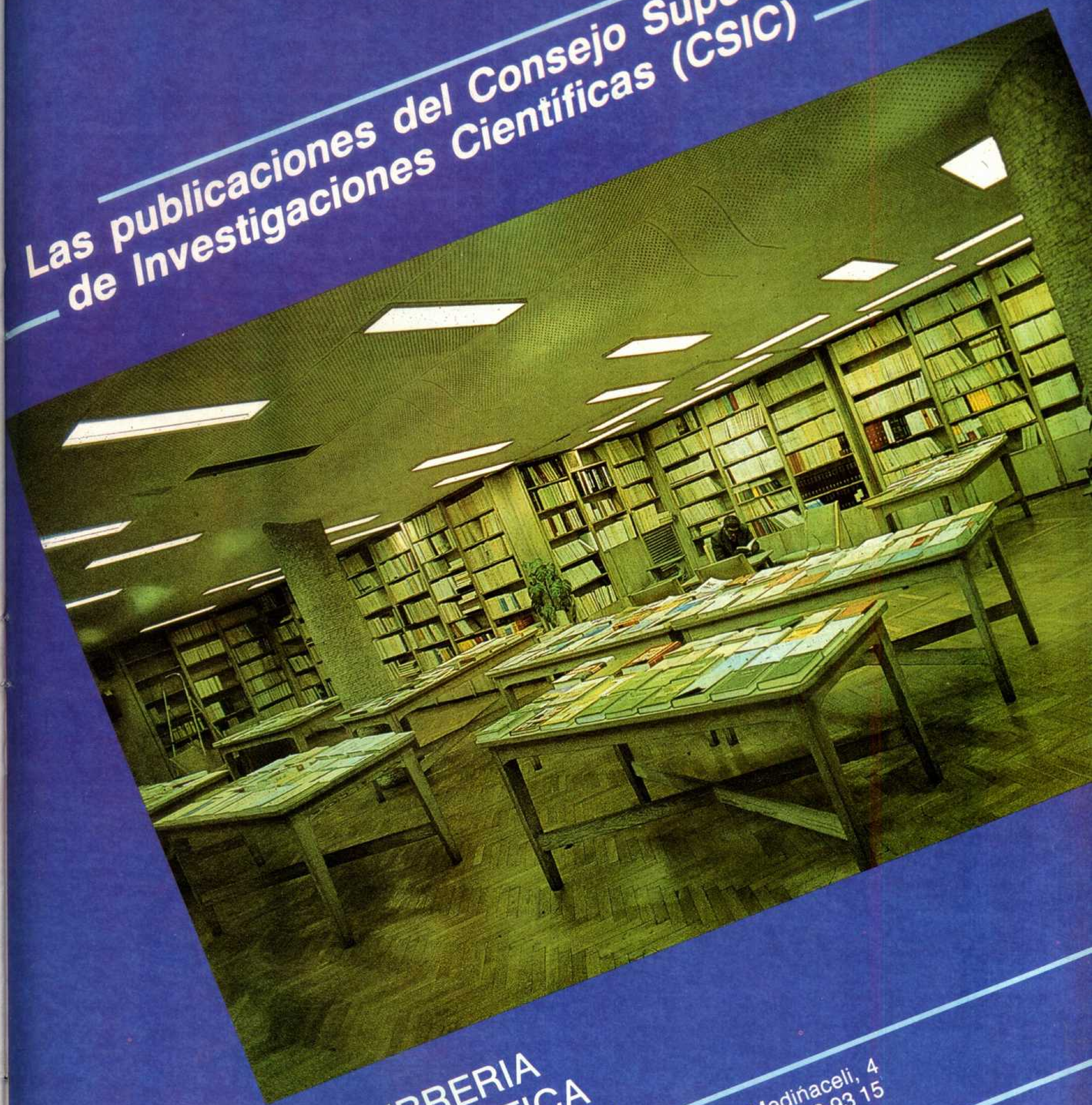
Una solución razonable

Hasta hace poco, la calidad del vidrio producido por fusión eléctrica (juzgada por su homogeneidad y por la ausencia de burbujas o de inclusiones sólidas) era insuficiente para alimentar un *float.* Pero, como resultado del esfuerzo de investigación y desarrollo, Saint-Gobain Vitrage dispone actualmente de un horno eléctrico –instalado en la antigua fábrica de Saint-Gobain en el Aisne– que produce un vidrio de la calidad requerida. Todavía no está asociado a un *float,* pero alimenta actualmente a una línea de producción de vidrio impreso por laminado del vidrio caliente entre dos rodillos que llevan un dibujo (este vidrio se emplea por ejemplo en puertas, ventanas y mamparos translúcidos). Para obtener un vidrio transparente, basta efectuar un laminado sin dibujo, y luego trabajar y pulir el vidrio mecánicamente, como se hacía antes de la invención del *float* en la fabricación de lo que se llamaba cristal de lunas. Ésta es la solución por la que se ha optado finalmente para la pirámide del Louvre.

Dado que un bajo nivel de óxidos de hierro ya no es un problema, se puede evitar la decoloración química, y por tanto sus inconvenientes eventuales, con el empleo de materias primas especialmente seleccionadas, a fin de disminuir el nivel de óxidos de hierro en el vidrio hasta unas 150 ppm. La decoloración física puede ser todavía necesaria, pero se simplificará. Como no se elimina químicamente el Fe^{2+}, será inútil añadir óxido de cobalto, y se efectuará el equilibrado colorimétrico por simple adición de algunas ppm de selenio.

Desde su creación para fabricar los cristales del palacio de Versalles, hace trescientos veinte años, Saint-Gobain se ha convertido en la primera industria vidriera del mundo y produce más de 15.000 toneladas de vidrio diarias en más de cien hornos. Pero, si ahora aporta una solución a este problema puntual e inédito, no es debido al volumen de su producción (ni a una aptitud hereditaria para producir vidrio para la realización de los monumentos de Francia). Es más bien gracias al cúmulo de experiencias y a la sinergia fruto del ejercicio, en un mismo grupo, de actividades vidrieras muy diferentes para la fabricación de una amplia gama de productos. Y gracias también al mantenimiento de una estructura adecuada de servicios técnicos, de desarrollo y de investigación.

James Barton.


Las publicaciones del Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (CSIC)

El misterio de la anguila: una vieja historia, pero nuevas investigaciones.

La saga de las anguilas

La anguila representa para Francia una apuesta económica importante, ya que es el primer país exportador europeo de anguila hacia Europa del Norte y el Japón, especialmente. Pero mientras la demanda comercial no cesa de aumentar, el número de anguilas capturadas disminuye a pesar de los perfeccionamientos de los métodos de pesca. De hecho la población de anguilas existente en el mundo depende totalmente de la reproducción natural en el mar. Hasta el momento presente esta reproducción nunca ha sido observada en la naturaleza ni se ha obtenido con éxito en el laboratorio. Este fenómeno se debe principalmente al hecho de que la anguila presenta un ciclo biológico totalmente original: un largo período de crecimiento en las aguas dulces continentales, durante el que los animales permanecen sexualmente inmaduros, y una reproducción en el mar (en puntos aún no identificados del mar de los Sargazos, tanto para las anguilas europeas como americanas). Por tanto, el estudio de los mecanismos de reproducción de la anguila tiene un doble interés: económico por una parte, y un interés fundamental de conocer la fisiología de la reproducción de estos peces, por otra.

Cada vez más la anguila es objeto de investigaciones entre un número creciente de equipos de todo el mundo, especialmente de Europa y Asia. Yves-Alain Fontaine y yo misma, en el Laboratorio de Fisiología General y Comparada del Museo Nacional de Historia Natural (Laboratorio de Endocrinología Comparada asociado al Centro Nacional de Investigación Científica, CNRS), acabamos de aportar nueva luz sobre los mecanismos de bloqueo de la reproducción de la anguila y sobre el papel de los factores externos en su estimulación durante la migración reproductora. De forma especial, el experimento consistente en sumergir anguilas (fig. 1) a una profundidad de 870 m en alta mar frente a Mónaco, de noviembre de 1985 a febrero de 1986, confirma nuestra hipótesis de que la profundidad desempeña un papel importante en la estimulación de la función reproductiva.[1]

De hecho, el misterio de la reproducción de las anguilas (puntos donde tiene lugar la reproducción, funciones reproductoras, etc.) preocupa a los hombres desde la Antigüedad. Aristóteles fue el primero, en *La Historia de los animales* y *El tratado sobre la generación de los animales*, en plantearse el tema del origen de estos peces, en los que nunca se encuentra ni líquido seminal ni huevos. Por su parte, Plinio pensaba que la anguila producía sus descendientes a partir de jirones de su piel que se arrancaba frotándose con las rocas. En el siglo XVII, Leuwenhoek, al confundir a los gusanos intestinales parásitos con anguilas pequeñas, defendía la idea de que la anguila era vivípara, idea que fue retomada por Linneo y Lacepede. También en el siglo XVII el naturalista italiano Francesco Redi, después de haber observado el descenso de las anguilas plateadas hacia el mar y a anguilas jóvenes remontar los cursos de agua dulce, afirmó, certeramente, que las anguilas se reproducían en el mar.

Finalmente, en el siglo XIX se realizó, en dos etapas, el descubrimiento de la fase larvaria de la anguila. En 1856, el alemán J. Kaup describió un nuevo pez del Mediterráneo, *Leptocephales brevirostris* y, cuarenta años más tarde, los italianos R. Grassi y S. Calendruccio demostraron que se trataba de hecho de la larva de la anguila. Por último, el ciclo de la anguila se esclareció mucho a principios de nuestro siglo gracias al



Figura 1. Desde hace mucho tiempo se sabe que la anguila es un animal que reparte su vida entre las aguas marinas y las continentales, pero cuya reproducción nunca ha podido ser observada en la naturaleza. Los estudios más recientes nos sugieren que la permanencia a gran profundidad es un factor importante para estimular la reproducción. Para verificar esta hipótesis sumergimos en una jaula a anguilas desde el buque oceanográfico «Winaretta Singer», a una profundidad de 870 m, en alta mar, frente a Mónaco. En los animales recuperados tres meses después de la inmersión se ha podido poner de manifiesto un importante aumento de la tasa de la hormona gonadotropa hipofisaria, así como un inicio del desarrollo de los ovarios. Estos experimentos han sido realizados gracias a la colaboración del comandante J. Alinat, del Museo Oceanógrafico de Mónaco y con la ayuda del Pirocéan (Programa Interdisciplinario de Investigación del Océano del CNRS). (Foto Y. A. Fontaine.)

(1) Y. A. Fontaine, S. Dufour, datos no publicados.

danés J. Schmidt, que buscó sistemáticamente a las larvas de anguila y localizó la presunta área de reproducción de las anguilas europeas y americanas en la región del mar de los Sargazos, situado frente al Golfo de México, donde se encontraron las larvas más jóvenes (preleptocéfalas).(2)

Hoy sabemos que el ciclo de la anguila europea, *Anguilla anguilla* L., se resume de la siguiente manera: del mar de los Sargazos, las larvas, llamadas leptocéfalas (fig. 2A), alcanzan las costas europeas, siguiendo la corriente del Golfo, después de un viaje de unos tres años. A la llegada al talud continental se metamorfosean en anguilas jóvenes o angulas (fig. 2B), que son capaces de penetrar en las aguas dulces y remontar los ríos. Este tipo de migración se llama anadroma. Durante unos diez a veinte años, las anguilas denominadas «amarillas» (fig. 2C) llevan una vida sedentaria, durante la cual se alimentan y crecen mucho. Al cabo de esta fase sedentaria, sufren nuevas transformaciones, especialmente en el color de la piel que les da la denominación de «plateadas» (fig. 2D). Entonces dejan de alimentarse y emprenden esta vez la migración llamada catadroma hacia los estuarios y el océano, para dirigirse hacia las áreas de reproducción. De hecho, nuestros conocimientos concretos sobre el ciclo de las anguilas se detienen aquí, ya que no se han podido seguir las anguilas plateadas más allá de la plataforma continental. Aún no se ha podido capturar ninguna en el área donde presumiblemente se realiza la freza.

Los mecanismos del bloqueo de la reproducción

A pesar de su avanzada edad, en el momento de partida para la migración reproductora, la anguila plateada aún está lejos de alcanzar su madurez sexual. En el macho, la diferenciación de las células sexuales (espermatogénesis) aún no ha empezado, y en la hembra, la formación de los óvulos (ovogénesis) se encuentra detenida en un estadio muy precoz. Se ha comprobado, además, que cuando se impide la migración, por ejemplo manteniendo a estos animales en un acuario, nunca se produce el desarrollo sexual. Hay, por tanto, un verdadero bloqueo de la función reproductora. Esta inmadurez de las gónadas de la anguila plateada ha hecho más difícil su descubrimiento en los siglos anteriores. Los ovarios fueron descritos en 1777 por Mondini, y los testículos, un siglo más tarde, en 1874, por S. Syrski. Estas gónadas aún fueron motivo de controversia durante varios años, y entre los investigadores que se interesaron por el tema se encuentra al joven estudiante Sigmund Freud, que publicó sus *Observaciones sobre la estructura fina de los órganos lobulados de la anguila, órganos que se consideran testículos.* El estudio de la anguila plateada, un pez a la vez anoréxico y sexualmente bloqueado, quizás influyó en la orientación posterior del célebre psicoanalista (!). Sea como sea, la anguila ofrece un modelo excepcional para el estudio de los mecanismos internos y los factores externos que controlan el desarrollo de la pubertad. En este contexto, el profesor Maurice Fontaine, con sus colaboradores del Laboratorio de Fisiología, del Museo Nacional de Historia Natural de París, fue el primero, hace ahora unos cincuenta años, en emprender el estudio experimental de estos mecanismos. Gracias a tratamientos estimulantes de las glándulas genitales (tratamientos gonadotropos) consiguió la maduración sexual del macho en 1936 y de la hembra en 1964. Ello le permitió no solamente observar por primera vez animales maduros (fig. 3), cuando nunca se había conseguido realizar su captura en la naturaleza, sino también sugerir que la ausencia de desarrollo sexual de la anguila plateada es el resultado de una

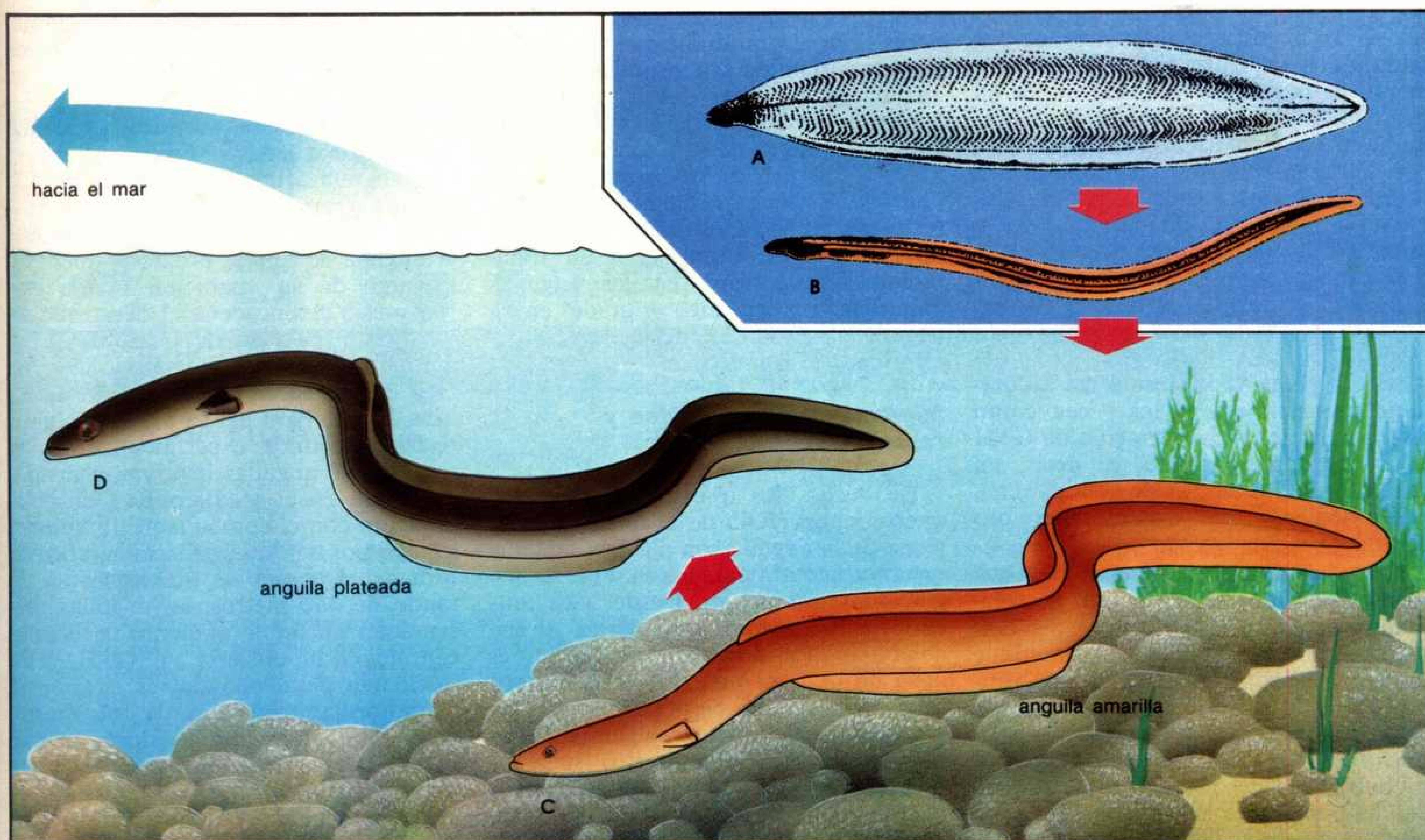


***Figura 2.** El descubrimiento de los estadios larvarios más jóvenes de la anguila europea, los preleptocéfalos, tuvo lugar a principios de siglo en el mar de los Sargazos. Los leptocéfalos (A), gracias a las corrientes marinas favorables, llegan a los ríos europeos después de un viaje que dura aproximadamente unos tres años. Ya sobre la plataforma continental, las larvas se metamorfosean en angulas (B) capaces de penetrar en el agua dulce y remontar los ríos. En las aguas dulces, las angulas se convierten en anguilas amarillas. Durante unos diez a veinte años, las anguilas amarillas (C) llevan una vida sedentaria y las hembras alcanzan un tamaño mayor que los machos. Al cabo de esta fase del ciclo, se transforman en anguilas plateadas (D) que descienden por los ríos y penetran en las aguas marinas para dirigirse a sus puntos de freza. Las anguilas pleteadas son aún sexualmente inmaduras, y el desarrollo de sus gónadas se produce a lo largo de su migración reproductora hacia el mar de los Sargazos.*

(2) L. Bertin, *Les anguilles,* Payot, 1951; F.W. Tesch, *The eel.*Chapman and Hall, 1977.

deficiencia hormonal, que se sitúa a nivel de la hipófisis, glándula situada bajo el cerebro y que controla, especialmente, la actividad de las gónadas (véase «Las hormonas del hipotálamo, *Mundo Científico,* n.° 43, enero 1985), dicho de otra manera, las anguilas presentan una deficiencia de su función gonatropa hipofisiaria.[3]

En 1980 reemprendimos el estudio de esta función y de su control, bajo la dirección del profesor Yves-Alain Fontaine. Las técnicas de cuantificación radioinmunológicas nos permitieron demostrar la reducida tasa de síntesis y liberación de la hormona gonadotropa (GTH) en la anguila plateada, lo que confirma la hipótesis de la deficiencia de esta función.[4] Recordemos ahora que en los peces, la actividad de las gónadas está controlada por una sola célula gonadotropa hipofisiaria (GTH), pariente de las dos hormonas gonadotropas de los mamíferos (LH, por Luteinizing Hormone y FSH por Follicle Stimulating Hormone).[5] En la anguila plateada pudimos estimular notablemente la síntesis hipofisiaria de hormona gonadotropa administrando al animal una hormona sexual, el estradiol 17β.[6] Esta estimulación, también observada en la trucha y en el salmón juvenil por otros autores, puede desempeñar un papel positivo original en los peces durante su pubertad. Sin embargo, en la anguila, a diferencia de los salmónidos juveniles, el marcado aumento de la síntesis de GTH nunca ha sido seguido de la liberación de la hormona en la circulación sanguínea ni, por tanto, del desarrollo de las gónadas. A fin de provocar esta liberación hormonal y con ella la aparición de la pubertad en la anguila tuvimos que recurrir a un doble tratamiento suplementario: utilizamos al mismo tiempo un agonista (sustancia que tiene los mismos efectos) de la gonadoliberina (GnRH), pequeña molécula del hipotálamo que estimula en los peces, como en los mamíferos, la liberación de GTH y un antidopaminérgico, es decir, un inhibidor de los efectos de la dopamina, neuromediador del sistema nervioso central.[7]

Como resultado de nuestros experimentos pudimos observar que no solamente el nivel de GTH en el plasma se ha elevado considerablemente, sino que también, en consecuencia, ha sido estimulado el desarrollo de los ovarios.[7] Estos resultdos han demostrado la existencia en la anguila de un *doble* bloqueo prepubertario de la función gonadotropa: hay, por una parte, un déficit de producción de GnRH y, por otra, una inhibición, debida a la dopamina, de la acción de la GnRH. El primero de los «cerrojos» que hemos observado, la deficiencia en GnRH, es un fenómeno que encontramos de forma general en los vertebrados y, en particular, en los mamíferos, cuando se encuentran en una situación tal que su actividad gonatropa es muy reducida. Esta situación puede ser fisiológica (infancia, reposo sexual en los animales de reproducción estacional) o patológica (por ejemplo, el hombre en caso de anorexia mental, o el hipogonadismo hipogonatropo de origen hipotalámico). Por el contrario, el bloqueo por la dopamina, ejercido a nivel hipofisiario sobre la acción de la GnRH, es un fenómeno original en los peces. Pero la multiplicidad de «cerrojos» que impiden la reproducción de la anguila en las aguas dulces continentales es probablemente es aún mayor. Desgraciadamente, aún no sabemos nada sobre el control de las neuronas de la GnRH y de la dopamina. Además, parece que las gónadas son incapaces de desarrollarse en respuesta a un tratamiento gonadotropo en las anguilas amarillas,[8] y en menor grado en la anguila plateada, por debajo de un determinado peso corporal.[9]

(3) M. Fontaine, *C.R. Acad. Sci. Paris, 202,* 1312, 1936; M. Fontaine y col., *C.R. Acad. Sci. Paris, 259,* 2907, 1964.
(4) S. Dufour y col., *Gen. Comp. Endocrinol., 49,* 404, 1983.
(5) Y. A. Fontaine, E. Burzawa-Gerard, *Gen. Comp. Endocrinol., 32,* 341, 1977; Y.Q. Fontaine, *Reprod. Nutr. Develop., 20,* 341, 1980.
(6) S. Dufour y col., *Gen. Comp. Endocrinol., 52,* 190, 1983.
(7) S. Dufour y col., *C.R. Acad. Sci. Paris, 299,* 231, 1984.
(8) Y. A. Fontaine, E. López, datos inéditos.
(9) Y. A. Fontaine y col., *J. Physiol.,* París, 72, 871, 1976, y datos inéditos.
(10) M. Fontaine, *Adv. Mar. Biol., 13,* 241, 1975.

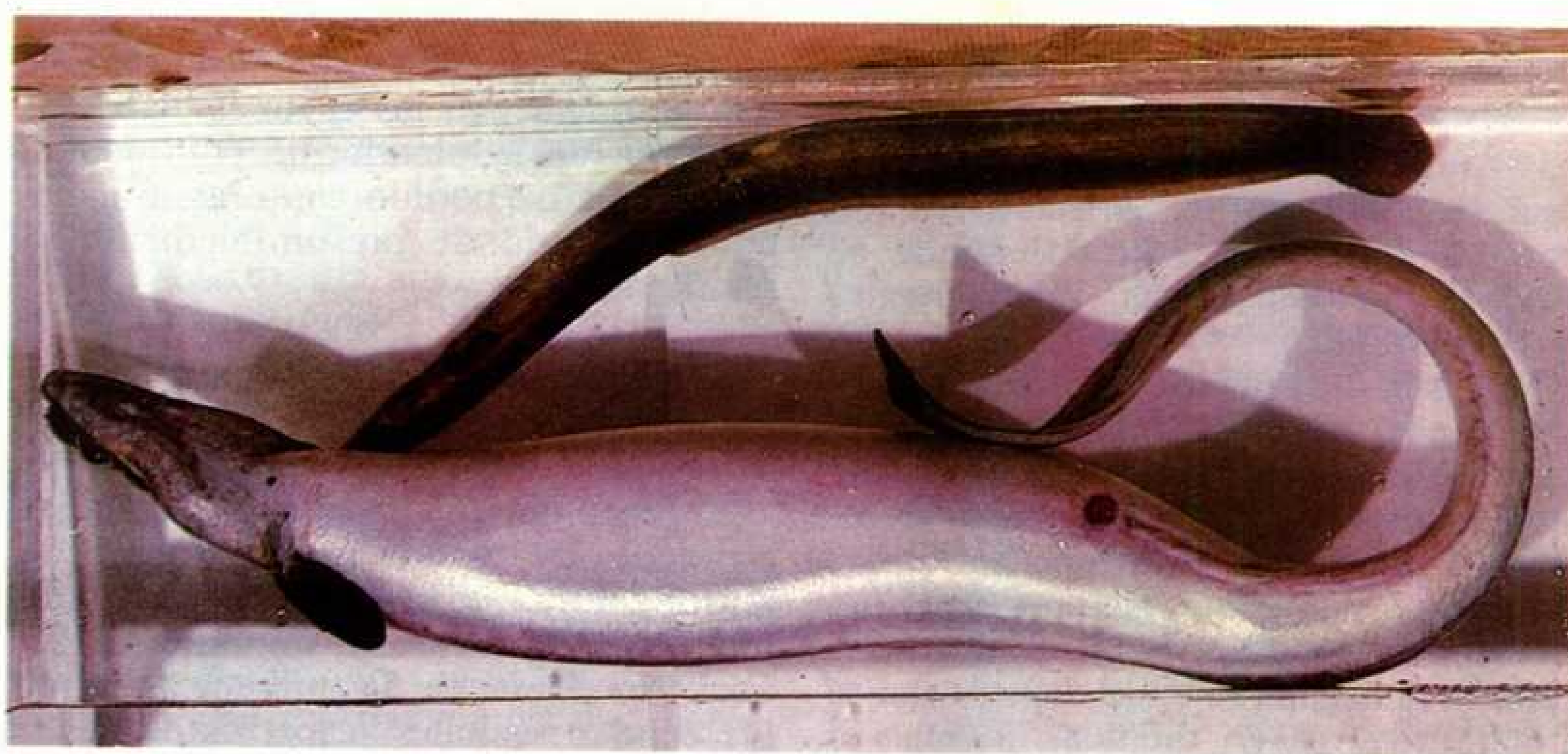


Figura 3. Mientras que nunca se ha capturado en la naturaleza a anguilas maduras, se ha podido provocar la maduración sexual en el laboratorio gracias a un tratamiento hormonal apropiado. Aquí vemos un macho (el animal más pequeño) y una hembra maduros (el abdomen de la hembra se encuentra distendido debido a los huevos) obtenidos en el laboratorio de Fisiología del Museo Nacional de Historia Natural de París por el profesor Maurice Fontaine y sus colaboradores. (Foto M. Fontaine.)

Migración en profundidad y reproducción

De hecho, los que levantan el bloqueo prepubertario de la función gonatropa de la anguila son algunos factores externos experimentados durante la migración reproductora. Desde hace mucho tiempo, Maurice Fontaine y sus colaboradores, demostraron que ni el agua de mar, ni una actividad motora forzada, inducían el desarrollo de las gónadas. Actualmente algunos argumentos directos e indirectos sugieren que las anguilas se sumergen a grandes profundidades a lo largo de su viaje reproductor. Se ha comprobado que en el paso del estadio amarillo al plateado la anguila sobre unas modificaciones fisiológicas que la preadaptan no solamente a la vida marina,[10] sino también a la vida a grandes profundidades mediante cambios en los pigmentos retinianos y modificaciones en la vejiga natatoria, órgano que permite la flotación de los peces. Estos cambios recuerdan algunos caracteres que se encuentran en los peces de grandes profundidades.[11]

Por otra parte, los escasos datos de que se dispone sobre las anguilas en su migración son sorprendentes: el submarino norteamericano «Alvin» fotografió una anguila a una profundidad de 2050 m cerca de las Bahamas. Su vientre hinchado, como en los experimentos de maduración provocada, sugería un avanzado estado de maduración sexual.[12] Más cerca de Europa, en alta mar, frente a las islas Feroe, se capturó una anguila a una profundidad de 325 m. Sus ovarios ya estaban ligeramente desarrollados.[13] Parece, por tanto, que la anguila se hunde progresivamente a lo largo de su migración y que este fenómeno desencadena el desarrollo de los ovarios, incluso en el caso de que el animal se encuentre aún muy lejos del área de puesta, como es el caso de las islas Feroe. Para evaluar esta hipótesis realizamos unos experimentos de inmersión de anguilas hembras plateadas en jaulas, en el Mediterráneo, en colaboración con el comandante J. Alinat y los equipos del Museo Oceanográfico de Mónaco. Después de tres meses en un fondo de 450 metros, las anguilas presentaban un fuerte aumento de la concentración hipofisiaria en GTH y un inicio del desarrollo de los ovarios.[14] Como decíamos de entrada, estos resultados han sido confirmados recientemente por un segundo experimento a 870 m (fig. 1).

Por tanto, parece demostrado que la inmersión prolongada estimula la función gonadotropa de la anguila. Hay dos factores externos que caracterizan las condiciones ambientales de esta inmersión: la oscuridad y la presión estática. Sin duda se trata de la alta presión, ya que nunca hemos observado ningún efecto en el laboratorio a causa de la

oscuridad.[15] Sin embargo, es muy probable que otros factores propios del lugar de la freza (temperatura, gases y otras sustancias disueltas en el agua, presencia de congéneres, etc.) se añadan a la profundidad para estimular, al menos las etapas finales de la maduración sexual.

Las fosas oceánicas: ¿posible lugar de reproducción?

Con todo, estos distintos descubrimientos aún no permiten afirmar de forma precisa en qué lugar del mar de los Sargazos se reproduce la anguila europea. No obstante, pensamos que deberíamos buscar este lugar a una profundidad mucho mayor de lo que suponían J. Schmidt y sus seguidores. Por la localización de las larvas, se trataría de una región probablemente vecina a la que utiliza la otra especie de anguila del Atlántico, la anguila americana *(Anguila rostrata)*, pariente muy cercana de la anguila europea. Debido a su localización al oeste de la dorsal medioatlántica, región del océano donde se forma la corteza oceánica, estas áreas de reproducción se alejan de Europa debido a la deriva de los continentes. Probablemente fue al irse adaptando a esta deriva que la anguila europea se fue diferenciando, alargando su fase larvaria, que dura tres años, en lugar de uno para la anguila americana.[2] Esta prolongación le permite alcanzar las costas europeas antes de metamorfosearse en angula.[2] Las otras especies de anguilas (unas quince aproximadamente) colonizan varios hábitats continentales en torno a los océanos Índico y Pacífico, y efectúan migraciones para reproducirse en el mar. Los datos sobre su fisiología y su ciclo biológico son escasos, pero sugieren también que necesitan reproducirse a considerable profundidad. Éste es el caso, por ejemplo, de las especies indonesias: en Sumatra, Java o Borneo, las anguilas pueblan únicamente los ríos de las costas que bordean las fosas oceánicas, y no los de las costas de la inmensa plataforma indomalaya. Además, se ha observado la presencia de numerosas larvas sobre las fosas de Java, Sumatra y Filipinas.[2] La situación es parecida en el Japón, donde hay un poblamiento mucho más abundante en las costas que bordean las fosas oceánicas que en las que dan a la plataforma chinojaponesa.[2] Estos datos, junto con el papel que debe desempeñar la profundidad, nos sugieren que las fosas oceánicas, resultado de la subducción de la litosfera, constituyen los lugares favorables para la reproducción de las anguilas. Según esta hipótesis, la multiplicidad de estas fosas en los océanos Índico y Pacífico habría sido favorable para la diversificación de especies que se puede observar. En lo que se refiere al Atlántico, es sorprendente observar que las larvas de anguila americanas y europeas se hayan localizado precisamente no lejos de la región de la subducción del Caribe, que podría ser, por tanto, su lugar de reproducción.

De esta manera, las anguilas, cuyos antepasados vivían probablemente en los fondos marinos, como la mayoría de los demás miembros de la familia de los anguílidos, fueron capaces de colonizar ampliamente las aguas dulces continentales a lo largo de su evolución. Sin embargo, todas las especies quedaron atadas al medio marino para su reproducción, superando esta contradicción mediante migraciones, especialmente espectaculares en el caso de la anguila europea. La necesidad de una estancia a gran profundidad parece ser uno de los factores básicos para la estimulación de la función gonadotropa, necesidad que podría ser resultado, quizá, de requerimientos especiales del desarrollo embrionario. El desarrollo completo del ciclo reproductivo de la anguila quizá podrá llegar a ser conocido antes del final del siglo.

Sylvie Dufour.

(11) R. C. Kleckner, *Science, 208,* 1481, 1975; Y. A. Fontaine y col., *La vie des sciences, Comptes rendus, 2,* 1, 1985.
(12) C. R. Robins y col., *Bull. Mar. Sci., 29,* 401, 1979.
(13) P. Ernst, *An. Biol. Ciem, 32,* 75, 1975.
(14) Y. A. Fontaine y col., *C.R. Acad. Sci. Paris, 300,* 83, 1985.
(15) S. Dufour, Y. A. Fontaine, *Bull. Soc. Zool., 110,* 291, 1985.

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

HA PUBLICADO ENTRE OTROS ARTICULOS

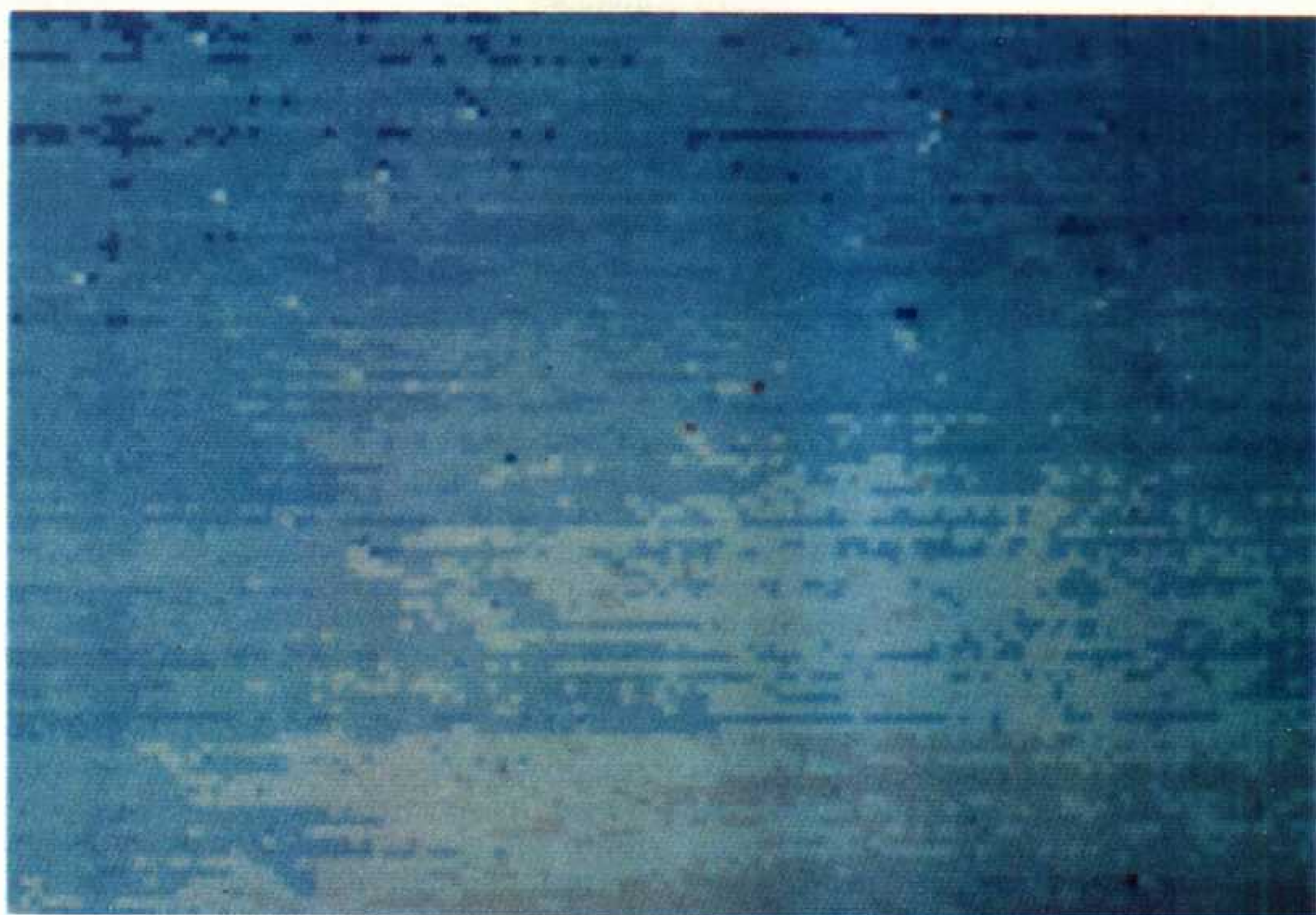
INFORMÁTICA

El boom de las máquinas parlantes (R. Carré) **1**-76
La microelectrónica de integración a gran escala (J.-L. Lardy) **3**-324
La televisión de bolsillo (G. Labrunie) **4**-429
Las impresoras de ordenador (R. Myers, Han Chung Wang) **6**-592
El reconocimiento de caracteres (P. Coueignoux) **9**-940
El videotex: imágenes en dos hilos (A. Pignat) **10**-88
Los biotransistores: la microelectrónica del siglo XXI (J. de Rosnay) **10**-91
El mayor de los microprocesadores (J.-M. Ayache, C. Beounes) **11**-218
Las secretarias electrónicas (N. Naffah) **13**-420
Cómo trabaja un circuito integrado (A. Georges, J.-M. Fournier) **13**-434
Las comunicaciones ópticas (D. Ostrovsky) **13**-438
La telecopia (P. Lloret, A. Dupuy) **15**-654
El videodisco numérico (G. Couturier) **16**-762
La microelectrónica trivializada: los circuitos predifundidos (G. Couturier) **17**-902
Para componentes electrónicos más rápidos: electrones superveloces (S. Laval) **18**-944
La oficina del mañana (P. Pineau) **20**-1164
La inteligencia artificial y juegos de ajedrez (J.-L. Laurière) **23**-280
Ordenadores sin paros (A. Costes, J.-C. Laprie) **25**-523
El Mastermind y las estrategias (A. Vloebergh) **25**-562
Memorias magnéticas: una nueva generación (J. P. Tual, J. Desserre) **26**-611
La seguridad informática (F. Bergantine) **26**-676
Las imágenes interactivas (R. A. Bolt) **27**-758
Las imágenes de televisión (D. Nasse) **27**-788
El ordenador y el solfeo, nuevos aliados (C. Jousse-Wilkins) **28**-900
El transistor superconductor (C. Haeberlin) **29**-961
Los supercalculadores (J.-C. Syre, D. Comte) **30**-1064
La traducción automática (M. Nagao) **33**-120
Los sistemas expertos (M.-O. Cordier) **34**-236
Los simuladores de vuelo (C. Machoulam) **36**-492
Los ordenadores de la quinta generación (T. Moto-oka) **37**-648
La tecnología al servicio de los invidentes (C. Tutin) **39**-861
¿Ordenadores sin consumo de energía? (I. Filotti, V. Mercouroff) **40**-1024
Prolog, lenguaje de la inteligencia artificial (A. Colmerauer) **41**-1072

Para mejorar los soportes magnéticos de grabación hay que analizar su superficie.

Un microscopio para los materiales

La grabación sobre soporte magnético desempeña hoy día un papel cada vez más importante. Todos los dispositivos que recurren a ella, sean cintas magnéticas utilizadas para la grabación audiovisual o disquetes para microordenadores, explotan el mismo fenómeno: una modificación del estado de magnetización de una película delgada de material ferromagnético depositada sobre un soporte de polímero. Bajo la acción de un cabezal de escritura, las informaciones son almacenadas en forma binaria en pequeños campos situadas a una distancia mutua de unos 100 nanómetros. Para obtener una gran densidad de informaciones y optimizar el almacenamiento de dichas informaciones resulta pues indispensable poder estudiar el estado de magnetización de una superficie con una resolución inferior a 100 nanómetros.



Numerosos investigadores se dedican al problema. En particular, K. Koike y K. Hayakawa, del laboratorio central de investigación de la sociedad Hitachi de Japón, obtuvieron el año pasado unas imágenes de microestructuras magnéticas, pero con una resolación especial cuyo orden de magnitud era sólo de un micrómetro.[1] Hace poco, J. Ungaris y sus colaboradores del National Bureau of Standards (NBS), en Estados Unidos, han encontrado una solución que permite obtener una resolución espacial veinte veces mejor (50 nanómetros). Han ideado un aparato que permite poner de manifiesto las características de la magnetización de la superficie de una película mediante medida de la polarización de los electrones expulsados de dicha superficie por efecto de un bombardeo electrónico.[2] Su dispositivo

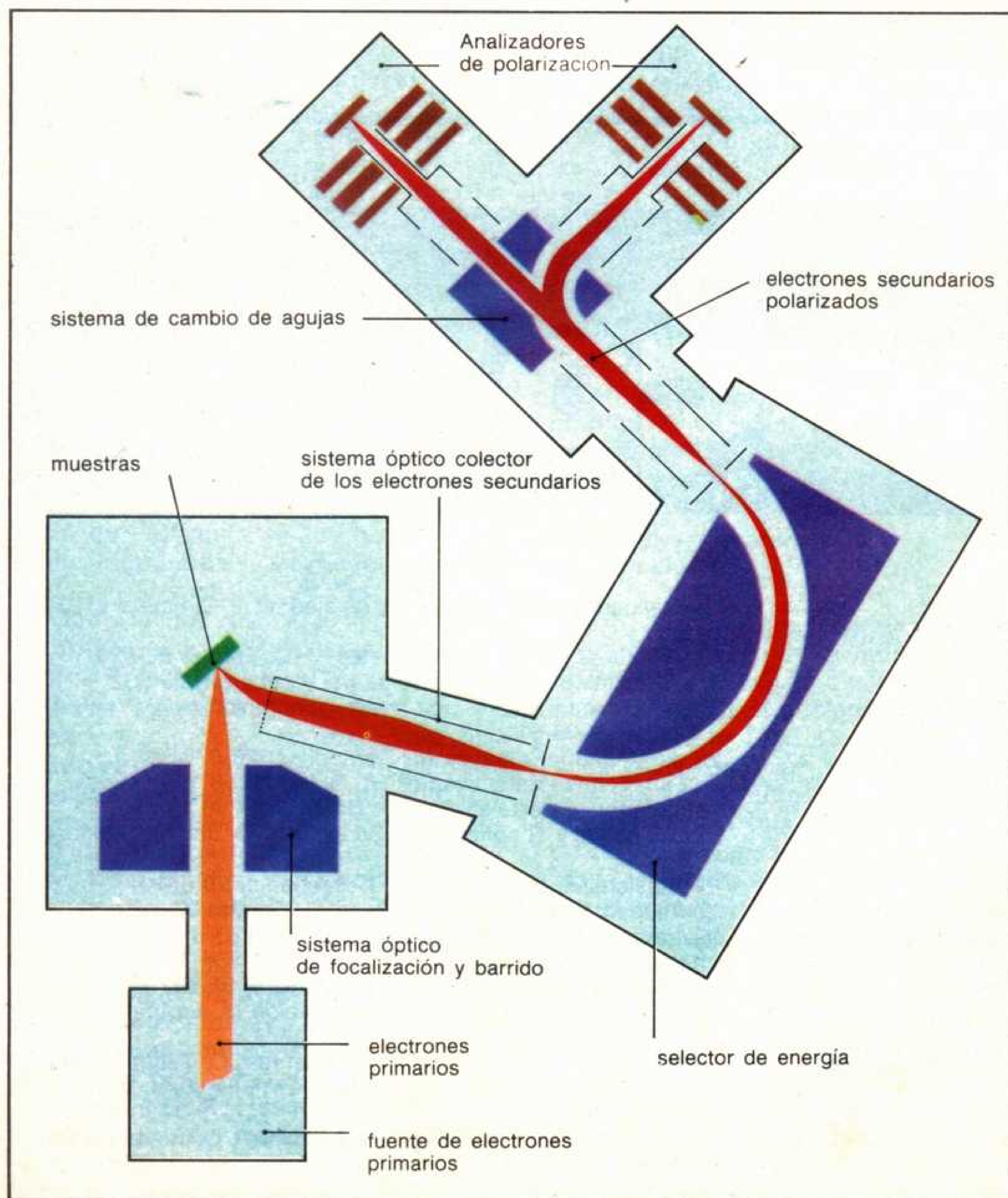


Figura 1. Investigadores del National Bureau of Standards han descubierto un medio ideal para obtener imágenes de la microestructura magnética de los materiales imantados. Recurren para ello a un dispositivo formado por un microscopio electrónico de barrido, asociado a un selector de energía, seguido de un analizador de polarización de los electrones secundarios. El diámetro del haz de electrones (primarios) focalizado sobre la muestra es de 10 nanómetros. Los electrones secundarios emitidos por la superficie analizada son recogidos y acelerados por un sistema óptico, que los dirige hacia un analizador de energía. La misión de éste es la eliminación de los electrones primarios que no están polarizados. Luego, un sistema de cambio de agujas dirige los electrones secundarios alternativamente hacia dos analizadores de polarización. Cada uno de estos analizadores permite determinar la amplitud de polarización de los electrones secundarios según dos ejes de referencia elegidos arbitrariamente en la superficie. Las señales procedentes de cada detector están acopladas a la señal de barrido por medio de un microordenador, que reconstruye las imágenes y las visualiza en una pantalla.

(1) K. Koike, K. Hayakawa, *J. Appl. Phys.*, *57*, 4244, 1985.
(2) J. Unguris *et al.*, *Journ. Magn. and Mag. Mat.*, *54*, 57, 1986.

magnéticos

2B



es un microscopio electrónico asociado a un analizador de polarización de electrones. Surgido de la fértil imaginación de los investigadores del NBS, este nuevo tipo de aparato aporta una respuesta muy lógica al problema de la microscopía de las estructuras magnéticas en medios imantados.

La ventaja de los electrones

Los medios imantados están formados por unos cuerpos llamados ferromagnéticos, en los cuales los átomos, al poseer un momento magnético, se comportan como pequeños imanes. Este momento magnético está causado a la vez por el movimiento de un electrón atómico alrededor del núcleo y por el espín de dicho electrón. De un modo esquemático, el espín de una partícula caracteriza la rotación de esta partícula sobre sí misma y confiere a un electrón un momento magnético intrínseco.

En la mayoría de materiales, los momentos magnéticos de los átomos están orientados en todas direcciones y la materia no presenta fenómenos de imantación. En los materiales ferromagnéticos, en cambio puede ocurrir que dichos momentos resulten alineados por efecto de un campo magnético exterior y que dicha alineación se conserva cuando se suprime el campo exterior: se dice entonces que el medio está imantado o polarizado.

Para explicar este fenómeno, los físicos tienen que poder explorar la composición interna de la materia imantada. Desde hace muchos años se consigue mediante difusión de neutrones, ya que estas partículas pueden penetrar profundamente en la materia y son sensibles a la magnetización del medio. Esta técnica ha permitido poner de manifiesto que en un medio imantado hay diversos campos que corresponden a alineaciones ligeramente distintas de los momentos magnéticos atómicos. Estos campos están separados por paredes asociadas a la presencia en el material de defectos o impurezas.

La técnica de difusión de neutrones, sin embargo, sólo permite estudiar la magnetización local o microestructura magnética en *volumen*, no la magnetización de *superficie*. Para esta magnetización de superficie puede diferir de la microestructura interna, aunque sólo sea por la distinta distribución de los átomos en aquélla a causa, por ejemplo de impurezas.

Para estudiar la superficie hay que disponer, pues de una sonda como los neutrones, sensible a la magnetización, pero que no penetre profundamente en la materia: tal es el caso de los electrones. Así, en 1979, R.J. Celotta, del National Bureau of Standards, y sus colaboradores, estudiaron la posibilidad de analizar la superficie de un material imantado por difusión de electrones polarizados: al ser difundidos por el material, los electrones sufren una modificación de su polarización.[3] Pero se trata

2C



***Figura 2.** Recientemente se ha estudiado la microestructura magnética de un monocristal de hierro con un 3 % de silicio mediante un microscopio electrónico de barrido con análisis de la polarización. La figura muestra la imagen de la superficie (cortada perpendicularmente al eje (100) del cristal) tal como se obtiene con un microscopio electrónico de barrido sin análisis de la polarización. La figuras B y C han sido obtenidas con análisis de la polarización según los dos ejes de la superficie. Está claro que los colores han sido codificados por el ordenador durante el tratamiento de los datos: el rojo corresponde a una amplitud máxima y el azul a una amplitud mínima. En esta superficie se distinguen numerosos campos de magnetización separados por paredes de formas muy diversas. En los campos que aparecen con colores opuestos en cada una de las fotografías, la polarización es paralela al eje correspondiente a la imagen en la que figuran en rojo. Es el caso de los campos en forma de obús, de la parte inferior de las imágenes. En los campos donde no hay transición neta del color, la polarización está inclinada con respecto a los ejes de referencia. (Fotos NBS.)*

(3) R. J. Celotta *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, *43*, 728, 1979.

de un método relativamente limitado, ya que es largo y poco preciso.

Los investigadores del NBS tuvieron entonces la idea de utilizar la polarización de los electrones secundarios expulsados por una superficie magnetizada por efecto de un bombardeo electrónico. Observaron que de estos electrones secundarios, los de más baja energía (del orden del electronvoltio) poseen una polarización ligada al estado de magnetización del medio del que proceden.[4] Así, la polarización de los electrones expulsados de dos campos vecinos separados por una pared será distinta. Tal es el principio de la formación de imágenes de microestructuras magnéticas de superficie. A los investigadores del NBS les quedaba aún una tarea: diseñar un dispositivo experimental simple y eficaz a partir de un aparato de uso corriente en el análisis de superficie: el microscopio electrónico de barrido.

Un analizador de espín del tamaño de un puño

En un microscopio electrónico de barrido se utiliza la emisión secundaria de electrones por bombardeo electrónico para estudiar la estructura geométrica de una superficie. En tal aparato se focalizan directamente los electrones secundarios sobre una pantalla, donde se forma la imagen de la superficie. Sólo las variaciones de intensidad del haz de electrones secundarios en función de la intensidad de la imagen. Así pues, para analizar la polarización de los electrones secundarios hay que añadir, entre la muestra analizada y la pantalla donde se forma la imagen, un dispositivo que mida la orientación del espín de los electrones secundarios: un analizador de espín (fig. 1).

(4) J. Unguris *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, *49*, 72, 1982.

También aquí demostraron su inventiva los físicos del NBS al idear un analizador de espín de dimensiones netamente más reducidas que las de los dispositivos de uso corriente. Del tamaño de un puño, tiene la ventaja de poder acoplarse sin demasiadas modificaciones a un microscopio electrónico. Este analizador está formado por una película de oro policristalino asociada a dos detectores de electrones. Los electrones polarizados que atraviesan la película de oro son dispersados preferentemente a la derecha o a la izquierda, según la orientación de su espín. La medida del cociente entre la tasa relativa de sucesos en cada uno de los detectores de la dirección de la polarización de los electrones secundarios emitidos por cada punto de la superficie barrida por el haz de electrones primarios. Un sistema de tratamiento de la información permite reconstruir las imágenes y visualizarlas en pantalla (fig. 2).

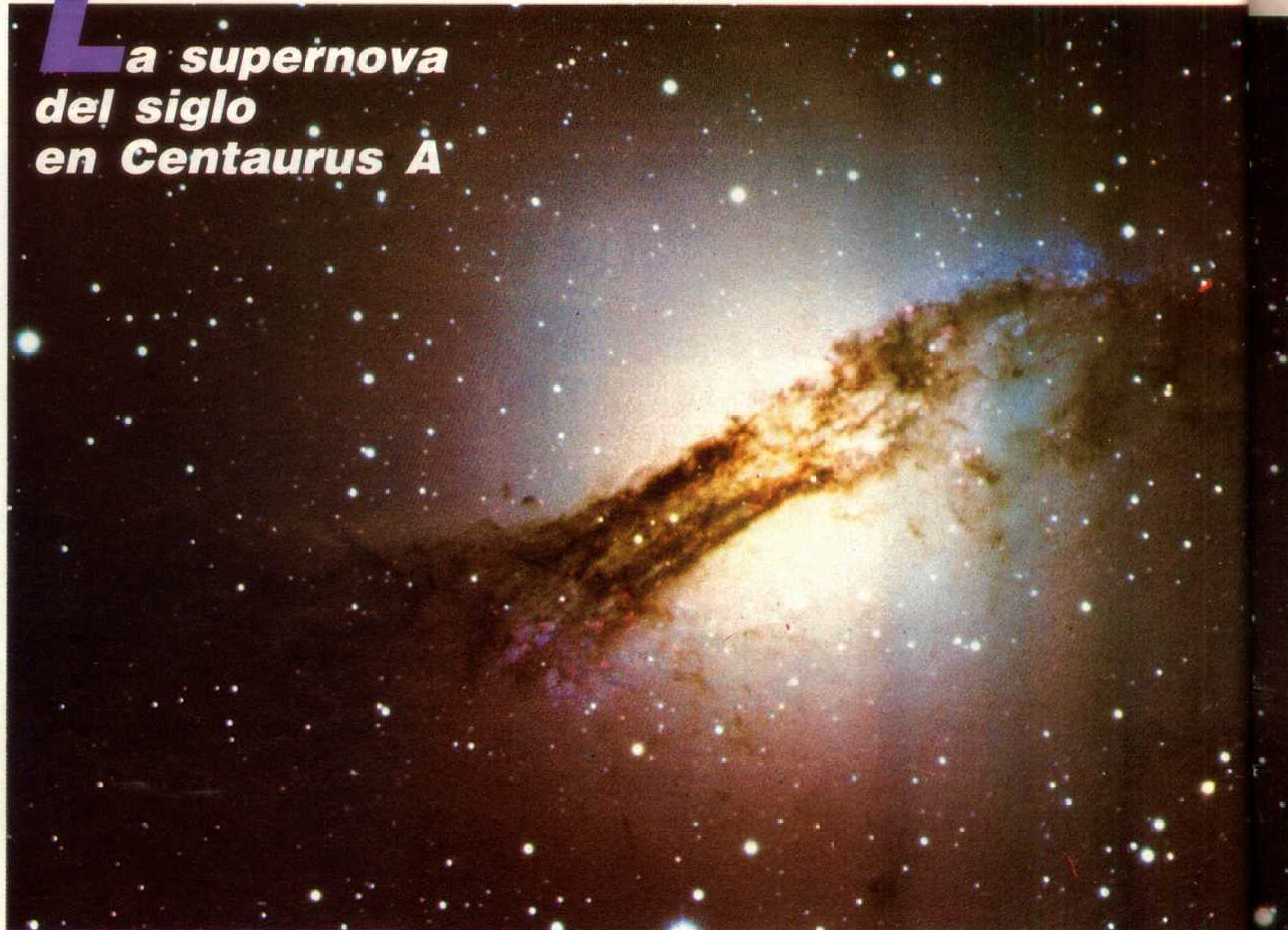
Con este microscopio electrónico de barrido con análisis de polarización, los investigadores del NBS han obtenido unas imágenes muy detalladas de la microestructura magnética de la superficie de monocristales de hierro con un 3 % de silicio. Se han obtenido en cinco minutos imágenes de 50 micrómetros de lado con un haz de electrones primarios de 100 nanómetros de diámetro y una intensidad de 3.10^{-12} amperios. La resolución espacial de las imágenes es actualmente de 50 nanómetros. Pero podría alcanzar la resolución intrínseca del microscopio electrónico de barrido (10 nanómetros), siempre que se eliminaran las vibraciones del soporte de la muestra. De otra parte, mejorando los detectores de electrones polarizados y la electrónica asociada se debería poder incrementar la sensibilidad del aparato y reducir, por tanto, la duración de los exámenes.

Con este aparato, los físicos disponen de un instrumento que parece ideal para el estudio de las microestructuras magnéticas y el papel de las impurezas en la superficie de un cuerpo imantado. Las consecuencias esperadas son múltiples, y es sintomático que los laboratorios de la sociedad Hitachi se interesan por este tipo de técnica. Gracias a su muy elevada resolución espacial, la microscopía electrónica de electrones polarizados permite estudiar de qué modo la microestructura magnética de los materiales imantados resulta afectada por las características topográficas y químicas locales de superficie. Debería resultar de ahí una mejora de la calidad de las cintas magnéticas. Podremos así grabar con una fidelidad muy alta los sonidos y las imágenes, y conservarlos durante más tiempo para nuestro solaz.

Didier B. Isabelle.

La más próxima de las galaxias caníbales está en puertas de nuestro sistema galáctico

La supernova del siglo en Centaurus A



El 3 de mayo tuvo lugar la explosión de una estrella en una galaxia distinta de la nuestra. Hasta aquí nada inhabitual, estos acontecimientos que los astrónomos llaman supernovas son ciertamente excepcionales, pero no rarísimos; y, aunque desde la invención del anteojo astronómico no se ha señalado ninguno de estos fuegos artificiales estelares en nuestra galaxia, se cuentan pese a todo una buena decena cada año, a distancias más grandes, pero accesibles gracias a los medios modernos.

Sin embargo, el acontecimiento del 3 de mayo ha desencadenado una avalancha de telegramas, observaciones y comunicados astronómicos de todo tipo. ¿Por qué? Sencillamente, porque esta supernova no sólo es una de las más brillantes observadas, sin duda la «supernova del siglo», sino también porque ha tenido lugar en Centaurus A, una notable galaxia gigante que los astrónomos vigilan desde hace tiempo. Esta galaxia es sede de fenómenos violentos que producen oleadas de ondas de radio y de rayos X, en muchos aspectos parecidas a las de los cuásares, estos objetos luminosos situados en los confines del Universo cuya fuente de energía todavía se desconoce. Gracias a esta primera supernova, los astrónomos han tenido la sorpresa de descubrir que Centaurus A estaba sin duda mucho más próxima a nosotros de lo que se creía hasta ahora: de algún modo es un primo lejano de los cuásares situado a las puertas de nuestro sistema galáctico.

La astronomía, ciencia de punta, todavía deja sitio a los aficionados. Así los descubrimientos de cometas y de supernovas son regularmente obra de aficionados «iluminados» que compensan sus escasos medios con una vigilancia atenta y sistemática del conjunto del cielo. Le bastó con una ojeada al reverendo R.O. Evans en Hazelbrook, en Australia, para descubrir algo extraño cuando apuntó el sábado 3 de mayo hacia medianoche, su telescopio de 40 cm de diámetro hacia la galaxia NGC 5128, Centaurus A. Esta galaxia presenta por sí misma un espectáculo particularmente sorprendente. Una nebulosidad brillante, que los astrónomos creen que es una galaxia elíptica gigante, está cruzada en toda su longitud por una banda oscura de polvo en la que se pueden reconocer las características de una galaxia espiral: una extraña mezcla que intriga a los científicos desde hace tiempo (fig. 1A). Precisamente fue en el centro de la barra de polvo donde R.Evans notó la pesencia particularmente ostensible de una «nueva» estrella ligeramente al sureste del centro de la galaxia (fig. 1B). Tras el tiempo justo para verificar que no se podía tratar de un error R. Evans alertaba al Observatorio más próximo, el de Siding Spring. En las horas siguientes T. Cragg y R. McNaught confirmaron el descubrimiento en un telegrama a la Unión Astronómica Internacional.[1]

Las primeras observaciones del espectro óptico, la distribución de la luz en función de la energía, revelaron que se trataba de una supernova del tipo I a la que se llamó 1986G.[2] Según la mayoría de las teorías, este tipo de supernova es el resultado de la explosión de una enana blanca, estrella muy compacta compuesta principalmente de carbono y oxígeno, hecha inestable por la acumulación en su superficie de materia arrancada a una compañera cercana. La presión suplementaria ejercida por estas nuevas capas desencadena en el centro de la estrella reacciones nucleares que transforman casi instantáneamente el carbono en níquel y luego en hierro. La enorme energía bruscamente liberada provoca la dislocación de la estrella en un destello luminoso cuyo brillo puede alcanzar varios miles de millones de veces el del Sol.

(1) Circular LAU, n.º 4208, 5 de mayo de 1986.
(2) Circular LAU n.º 4210, 8 de mayo de 1986; n.º 4215, 13 de mayo de 1986; n.º 4216, 15 de mayo de 1986.

A *Una explosión muy espectacular de una estrella tuvo lugar el pasado mayo en la galaxia NGC 5128 (Centaurus A). Centaurus A tiene una forma muy insólita, visible en esta fotografía. Una nebulosa brillante aproximadamente esférica que tiene todas las características de una galaxia elíptica está cortada por la mitad por una banda oscura de gas, polvo y estrellas que parece una galaxia espiral (A). En el centro de esta zona oscura, ligeramente al sudeste del centro de la galaxia es donde ha aparecido una «nueva» estrella (flecha) descubierta por un aficionado y claramente visible en esta fotografía tomada con el gran prisma objetivo (GPO) del Observatorio Europeo Austral (ESO) el 8 de mayo de 1986 (B). Su luminosidad fue máxima hacia el 21 de mayo, antes de declinar. Los astrónomos han reconocido en ella una supernova llamada del tipo I, la explosión de una estrella compacta hecha inestable que, sino hubiese estado oculta por el polvo de la galaxia, habría sido la más brillante del siglo, prácticamente visible a simple vista. Gracias a esta primera supernova detectada en Centaurus A ha podido volver a determinarse la distancia de la galaxia; ésta sería de sólo 7 a 10 millones de años luz, es decir, apenas estaría un poco más lejos que la galaxia de Andrómeda y, por tanto, formaría parte del Grupo Local, el grupo de galaxias más próximas a nosotros. Centaurus A, cuyo núcleo emite intensas ondas de radio, radiaciones visibles e infrarrojas y rayos X y γ es, pues, un representante a nuestro alcance de los núcleos activos de galaxias cuyo misterio todavía no ha sido desvelado. (Foto A. D.F. Malin, Anglo-Australian Telescope Board, amablemente cedida por Encyclopaedia Universalis; foto B, European Southern Observatory.)*


B

En el caso de la supernova 1986G, una fracción importante de esta energía es absorbida sin duda por el polvo que rodea a la galaxia. Las observaciones con alta resolución espectral obtenidas en el telescopio de 3,60 m del Observatorio Europeo Austral en Chile (ESO) han permitido establecer que algunas rayas del espectro, especialmente del calcio y del sodio, se han formado al atravesar nubes interestelares situadas detrás de la banda oscura, en el interior mismo de la galaxia elíptica.(3) Según las estimaciones de los astrónomos del ESO, la atenuación total habría podido alcanzar el 95 %. Si no hubiese estado oculta, la estrella habría culminado por tanto a la magnitud 7,5, es decir, apenas menor que la de las estrellas visibles a simple vista, y hubiese sido indudablemente la más brillante de las supernovas observadas desde hace un siglo.

En las semanas siguientes, la supernova, que alcanzó su máximo de luminosidad hacia el 20 de mayo, focalizó la atención de numerosos observadores. Se obtuvieron espectros en el ultravioleta gracias al satélite *Internacional Ultraviolet Explorer* (IUE) actualmente en órbita(2) e incluso, por primera vez, en el infrarrojo en el Observatorio inglés del Mauna Kea (Hawai).(4) Estas observaciones nos dirán pronto mucho más sobre el desarrollo de la explosión pero, desde el primer momento, los astrofísicos han visto en el descubrimiento de esta primera supernova en Centaurus A, una ocasión única para determinar la distancia de esta extraña galaxia por medio de un nuevo método.

Las luminarias del Universo

Es muy tentador intentar utilizar las supernovas, que pueden ser visibles incluso en galaxias muy alejadas, para determinar las distancias en el Universo (véase «Los parámetros del Universo» en nuestro número de marzo de 1985). Hasta ahora el método empleado, conocido con el nombre de método de Baade-Wesselink, era relativamente complejo ya que requería la determinación de cantidades difícilmente medibles, como la velocidad y la temperatura de los gases de la supernova en expansión. Las cosas serían mucho más sencillas si todas las supernovas tuviesen la misma luminosidad: entonces servirían de «luminarias estándar» y su brillo aparente sólo dependería de su distancia (en función inversa del cuadrado de ésta). No es éste el caso de la mayoría de las supernovas salvo quizá... de las supernovas del tipo I (SNI) como la de Centaurus A. Basándose en cálculos hidrodinámicos detallados, tres astrofísicos, David Arnett de Chicago, David Branch de la Universidad de Oklahoma y John Craig Wheeler de la Universidad de Austin,(5) acaban de demostrar que durante la explosión de una SNI, la luminosidad máxima es producida por los fotones gamma y los positrones emitidos en la combustión casi instantánea del níquel en hierro en el centro de la enana blanca. Según Arnett y sus colaboradores, esta luminosidad sólo depende de la cantidad de níquel quemada que, como máximo, es igual a 1,4 masas solares (la masa máxima crítica de la enana blanca al principio de la explosión) y, como mínimo a 0,4 masas solares (8.10^{32} gramos). La luminosidad típica de una SNI está por tanto obligatoriamente limitada por unos valores «estándar» bien definidos: de 2 000 a 8 000 millones de veces la luminosidad del Sol.

Al aplicar esta noción de «luminaria estándar» a la supernova descubierta, los astrónomos del ESO han tenido la sorpresa de tener que revisar a la baja la distancia de Centaurus A.(3) En vez de los 16 millones de años luz comúnmente admitidos, Centaurus A no estaría más que a 7 o 10 millones de años luz, es decir, tan sólo entre 4 y 5 veces más lejos que la galaxia de Andrómeda y, por tanto, formaría parte del Grupo Local, este pequeño club de galaxias muy próximas a la nuestra.

Aunque las observaciones actuales de las SNI parecen confirmar que éstas

(3) *ESO informations,* 13 de mayo 1986.
(4) Circular LAU, n.º 4224. 3 de junio 1986.
(5) W. D. Arnett *et al., Nature, 314,* 337, 1985.

¿Cuál es la naturaleza de la «máquina infernal» del centro de Centaurus A?

supernovas tienen características idénticas, todavía es un poco pronto para decidir sobre la pertinencia de los cálculos de Arnett y sus colaboradores. Sin embargo el método es muy prometedor. Señalemos por otra parte que la revisión de los cálculos anteriores de distancias podría revelarse absolutamente indispensable si, como sugiere A.R. Walker, un error importante afecta a la calibración de las estrellas cefeidas que son la base de la escala clásica de distancias.[6] Será pues muy interesante esperar, en los próximos meses, la tercera determinación independiente de la distancia de Centaurus A, que podrá obtenerse a partir de la velocidad de expansión de la supernova por el método de Baade-Wesselink.

La más próxima de las galaxias caníbales

La supernova descubierta por R. Evans también tendrá el mérito de iluminar las particularidades de Centaurus A con una nueva luz. Esta galaxia no es como las demás. En primer lugar, debido a su forma singular que parece una superposición de dos galaxias diferentes, y luego debido a su actividad fenomenal. Centaurus A es una de las más potentes fuentes de radiación radio del cielo y también de radiación infrarroja, X y γ: una emisión que proviene no de toda la galaxia sino de los chorros de electrones propulsados hasta millones de años luz de distancia desde su centro, el núcleo. Para explicar su forma insólita, la hipótesis considerada más plausible, y que parece confirmada por las últimas observaciones,[7] es la de una colisión *reciente* entre una galaxia elíptica gigante y una galaxia espiral. En este tipo de colisión la galaxia espiral, propiamente devorada por su compañera, pierde poco a poco su identidad; tendríamos así ante nuestros ojos un acto de canibalismo sorprendido en flagrante comisión. ¿Es también la explicación de la actividad del núcleo de la galaxia?

En opinión de todos los científicos, esta actividad es muy parecida a la de los cuásares, los astros más lejanos descubiertos en el Universo, cuya fuente de energía es aún desconocida. ¿Hay pues, en el centro de Centaurus A, una «máquina infernal» como la que alimenta a los cuásares, y si es así, cuál es su naturaleza exacta? Aunque las observaciones en el infrarrojo parecen haber finalmente logrado localizar el núcleo de Centaurus A detrás de su velo de polvo[8] todavía es demasiado pronto para poder responder a todas estas preguntas. Pero ciertamente Centaurus A que está en nuestros suburbios extragalácticos inmediatos nos ofrece una de las mejores oportunidades para comprender lo que sucede en el otro extremo del Universo.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud

(6) A.R. Walker, *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.*, *212*, 343, 1985.
(7) A. Wilkinson *et al.*, *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.*, *218*, 297, 1986.
(8) A.B. Giles, *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.*, *218*, 615, 1986.

Cursos del C. S. I. C. organizados en 1987 por el PROGRAMA
INGENIERIA GENETICA

BIOTECNOLOGIA PARA EMPRESARIOS

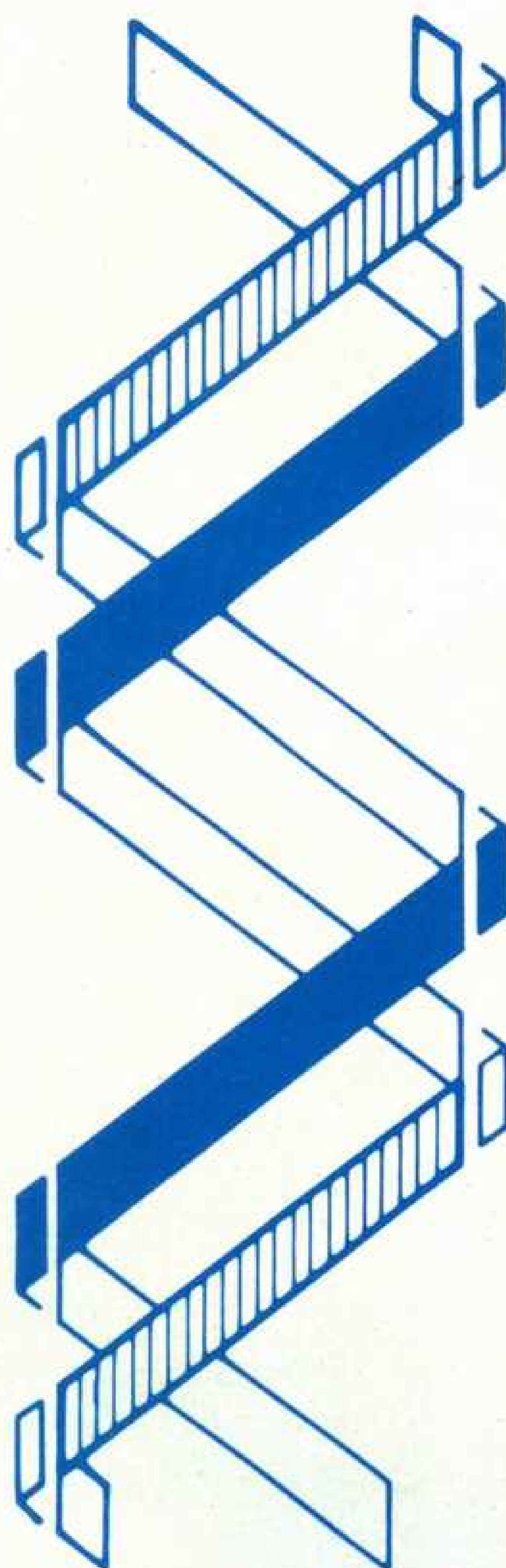
"Las nuevas biotecnologías, un reto para Investigadores y Empresarios".

Barcelona, 18 de febrero 1987

(en colaboración con la Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Barcelona).

• CONTENIDO DEL CURSO

"Biotecnología para Empresarios" ofrece un panorama general de las nuevas biotecnologías y de su impacto en los sectores, así como de los cambios que estas tecnologías han supuesto para el mundo investigador.
Su formato intensivo comprende siete seminarios presentados por destacados científicos del C.S.I.C y de la empresa privada.
El curso se dirige a empresarios, directivos de departamentos de I + D, investigadores y, en general a toda persona interesada en las aplicaciones industriales de la biotecnología.
Se ha programado asímismo una mesa redonda en la que se invita a los participantes a exponer libremente proyectos y opiniones para su comentario.



Para mayor información: PEDRO PUIGDOMENECH
Centro de Investigación y Desarrollo de Barcelona
C/Jorge Girona Salgado 28–26
08034 BARCELONA

5º CURSO PRACTICO DE INGENIERIA GENETICA

Madrid, 4 a 18 de julio 1987

• AMBITO DEL CURSO:

Es nacional y su finalidad es proporcionar a estudiantes pre– y postdoctorales, profesores universitarios, y técnicos de industrias, los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para la realización de experimentos de clonaje molecular de DNA. El número de asistentes será limitado.

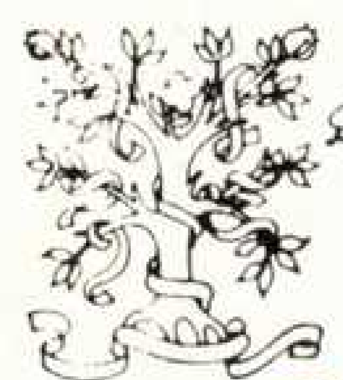
• CONTENIDO PRACTICO:

Abarcará el clonaje de promotores heterólogos en un vector plasmídico de expresión génica; el estudio de la expresión de los promotores clonados y la secuenciación del DNA de los plásmidos recombinantes.

• CONTENIDO TEORICO:

Comprenderá 11 lecciones y se complementará con seminarios dados por profesores extranjeros invitados.

Para mayor información:
MANUEL ESPINOSA
Centro de Investigaciones Biológicas
Velázquez, 144
28006 MADRID



CONSEJO
SUPERIOR
DE
INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS

INFORMACION GENERAL SOBRE EL PROGRAMA:
MIGUEL VICENTE: Programa Ingeniería Genética C.S.I.C.
Centro de Investigaciones Biológicas. Velázquez, 144 – 28006 MADRID

La aspirina

por Odile Robert y B. Boris Vargaftig

La aspirina tiene ochenta y siete años. Es conocida en el mundo entero y se consumen miles de millones de comprimidos. ¿Cómo puede guardar todavía algunos secretos? Aunque se empieza a comprender su modo de acción, no todo se conoce, ni mucho menos acerca de las razones de su eficacia en un número creciente de enfermedades. Casi cien años después de su descubrimiento, la aspirina sigue suscitando un considerable interés y continúa siendo un instrumento de investigación de sorprendente fecundidad.



Simbolizada por el célebre comprimido blanco, la aspirina soporta con asombroso vigor sus 87 años. Semejante longevidad en el arsenal terapéutico resulta excepcional. ¿Qué medicamento, al cabo de casi un siglo de existencia, puede vanagloriarse de gozar, tanto ante el público como ante los médicos, de tal popularidad? ¿Quién de entre nosotros no ha consumido nunca una aspirina? ¿Qué otro medicamento conoce un éxito así a nivel planetario? La aspirina, nacida en Europa, franqueó rápidamente las fronteras y atravesó los océanos para adquirir renombre universal (fig. 1). Aún hoy es el medicamento más consumido del mundo. En realidad, la aspirina alivia por un costo muy módico y sin riesgo de hábito la fiebre y el dolor asociado a numerosísimas patologías; combate eficazmente las reacciones inflamatorias agudas. Estas tres propiedades mayores llamadas antipirética, antálgica y antiinflamatoria han sido la causa de su éxito terapéutico, aun cuando su mecanismo de acción siguió siendo un enigma durante mucho tiempo.

Sin embargo, su uso es de vez en cuando criticado, su abuso discutido y su sustitución considerada. En efecto, una serie de investigaciones epidemiológicas tratan de hacer a la aspirina –y las más de las veces su administración en exceso– responsable de trastornos en ocasiones graves. Así es como una investigación americana iniciada en 1974 atribuía en 1982, al menos a ciertas formas de aspirina, una responsabilidad en un síndrome neurológico raro pero a menudo mortal, el síndrome de Reye. El 19 de junio de 1986, Gran Bretaña



retiró de la venta por esta razón algunos medicamentos pediátricos que contenían aspirina. De forma más corriente, todos conocemos la toxicidad de la aspirina sobre la pared del estómago; menos conocido es su papel en las hemorragias. En una palabra, este medicamento universal es también controvertido. En el proceso a la aspirina que vamos a iniciar ¿cuál es el peso real de estas acusaciones?

«La historia de la aspirina ilustra cumplidamente la filiación entre las recetas milenarias y la reciente intervención de la ciencia que ha dado lugar a los grandes descubrimientos terapéuticos» escribe Thierry Humbert en el preámbulo de la tesis que ha dedicado al origen de la familia de las moléculas a la que pertenece la aspirina,[1] los salicilatos. Estas moléculas orgánicas cíclicas son unos compuestos naturales, presentes principalmente en algunas plantas como el sauce, la reina de los prados y la gaultheria.

La Antigüedad conocía ya las virtudes terapéuticas del sauce, cuya corteza, hojas, savia y amentos eran utilizados desde el siglo I, si creemos a Dioscórides, con numerosísimas indicaciones, y principalmente las fiebres, los dolores, la excitación genital excesiva (sic.). La utilización empírica del sauce ha proseguido con éxito a través de los siglos. Fue necesario esperar hasta el siglo XIX, con el desarrollo de la química de extracción y de síntesis, para identificar y aislar los principios activos responsables de las virtudes reconocidas de las recetas de la medicina popular. Muchísimos trabajos realizados en Francia, Suiza, Italia y Estados Unidos desembocaron por vías diversas a la extracción de la salicina y luego del ácido salicílico, sustancias cuyo interés terapéutico en el reumatismo articular agudo fue demostrado por el escocés Mac Lagan en 1874 para la primera y por los alemanes Riess y Stricker en 1876 para el segundo. El ácido salicílico poseía incontestablemente una acción contra la fiebre y el dolor, pero provocaba efectos irritantes en las mucosas y en particular quemaduras del estómago. Su sal de sodio, el salicilato de sosa, introducido en terapéutica en 1877 por Germain de Sée, era eficaz contra la fiebre, el dolor y la inflamación; si se reveló un poco menos agresivo que el ácido, era mal aceptado por causa de su sabor especialmente amargo.

Una solución al problema de la intolerancia a los salicilatos se encontraba ya, sin él saberlo, en las manos de un joven químico francés de Estrasburgo, Charles-Frédéric Gerhardt. Este investigador logró en 1853 la primera acetilación del ácido salicílico, lo que condujo a la obtención de un cuerpo, el ácido acetilsalicílico, que no es otro que la aspirina. Trabajo sin repercusión... farmacéutica. En este último plano, el mérito corresponde sin duda a Félix Hoffmann, joven químico alemán que trabajaba para la compañía Bayer. A partir de 1888, esta firma crea un departamento farmacéutico (que por su dinamismo abrió realmente una nueva era); luego, en 1890, funda el primer laboratorio de farmacología industrial. La pequeña historia cuenta que el padre de Félix Hoffmann sufría poliartritis reumatoide y ya no soportaba su dosis diaria de salicilato de sosa, excesivamente amargo. F. Hoffmann se interesó pues por esta cuestión y estudió de cerca los trabajos de Gerhardt. En 1897 elaboró un nuevo procedimiento de acetilación del ácido salicílico utilizable a escala industrial y obtuvo un producto puro y estable (fig. 2). Heinrich Dreser, responsable del laboratorio de farmacología, realizó los primeros estudios experimentales, y Wohlgemuth y Witthauer iniciaron las primeras pruebas clínicas del ácido acetilsalicílico. Los resultados demostraron rápidamente la superioridad de este nuevo compuesto en relación al ácido salicílico, por una parte, y al salicilato de sosa, por otra. La compañía renana Bayer decidió lanzar al mercado este nuevo producto; era el día 1 de febrero de 1899, la «Aspirina» entraba en escena.



Figura 1. La aspirina es sin ninguna duda uno de los primeros grandes medicamentos de la industria farmacéutica. Durante centenares de años, los hombres utilizaron contra las fiebres unas preparaciones de hojas o de amentos de sauce: esta planta contiene la salicina, sustancia activa contra diversas manifestaciones inflamatorias. El «principio activo» (ácido salicílico y salicina) fue aislado a principios del siglo XIX. En 1897, la elaboración industrial de la aspirina, un derivado del ácido salicílico obtenido por síntesis química, puso a disposición de médicos y consumidores uno de los más potentes y –si se hace un buen uso– más inofensivos medicamentos que se conozcan hasta nuestros días. Esta aventura industrial empezó en los laboratorios de la Compañía Bayer en 1897. El autor del método para producir la aspirina de forma eficaz y poco onerosa fue el Dr. Félix Hoffmann (1867-1946)(A). Las primeras preparaciones comercializadas eran un simple polvo (B) pronto remplazado, hacia 1904, por la célebre tableta en tubo de cristal (C). Con esta presentación la aspirina se extendió por el mundo. En la actualidad, su consumo se cifra en miles de millones de dosis... (Foto Bayer.)

El medicamento más consumido del mundo

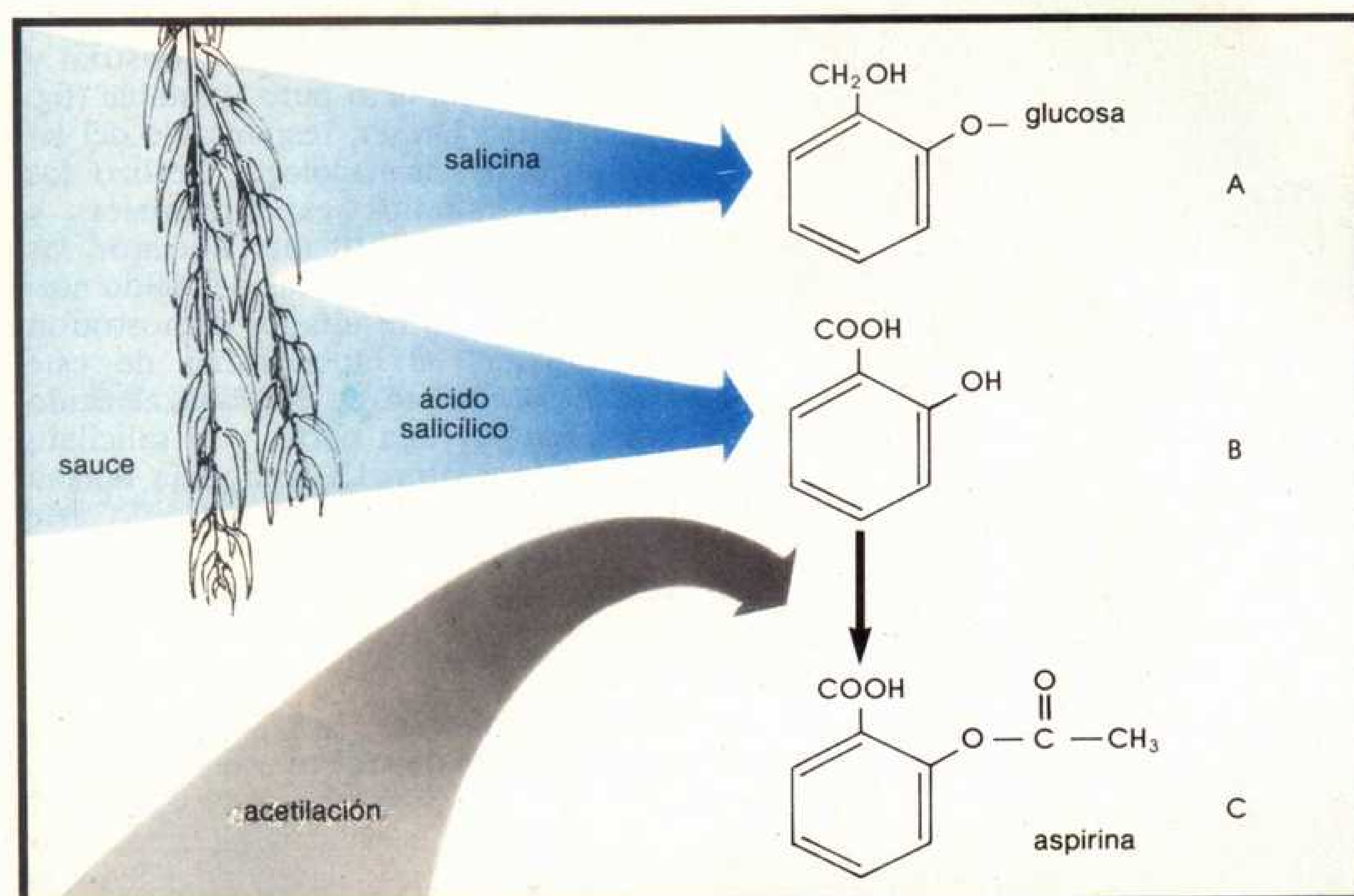
El origen de la palabra aspirina, marca registrada por Bayer en 1899 en Alemania, en Francia y en la Oficina Internacional de Berna, es el siguiente: *«A»* es la abreviación del radical acetil; *«spir»* la de *Spirsaüre* que en alemán significa «ácido de la espírea», nombre científico de la reina de los prados; e *«ina»* corresponde a un sufijo clásico en química industrial que encontramos también en nombres como morfina, digitalina, cocaína, etc. Hasta la primera guerra mundial, la firma Bayer conservó la propiedad exclusiva de la marca «Aspirina», monopolio que después declinaría, aunque la marca «Aspirina», sigue estando protegida en setenta países, entre ellos España. No sucede así en Francia, donde el nombre se ha convertido en una denominación común a consecuencia, se cree generalmente, del tratado de Versalles de 29 de junio de 1919. Sin embargo, esta explicación es discutida por algunos.[2]

Desde su comercialización, la aspirina tuvo rápidamente un éxito excepcional que le valió los calificativos de «droga milagro» o de «medicamento universal». En efecto, actúa favorablemente en una cantidad impresionante de afecciones que van de la gripe a los reumatismos inflamatorios y a la artrosis, pasando por las migrañas, las ciáticas, los dolores dentales, los lumbagos, etc. La fama de la aspirina estimuló la imaginación de caricaturistas, publicitarios, y simples ciudadanos, como atestigua la historia siguiente: en setiembre de 1914, un mes después de la declaración de guerra, un farmacéutico de París que respondía al nombre de Bayard no vacilaba en ponderar los méritos de este remedio con el siguiente eslogan *«aspirina Bayard la aspirina sin miedo ni reproche».*

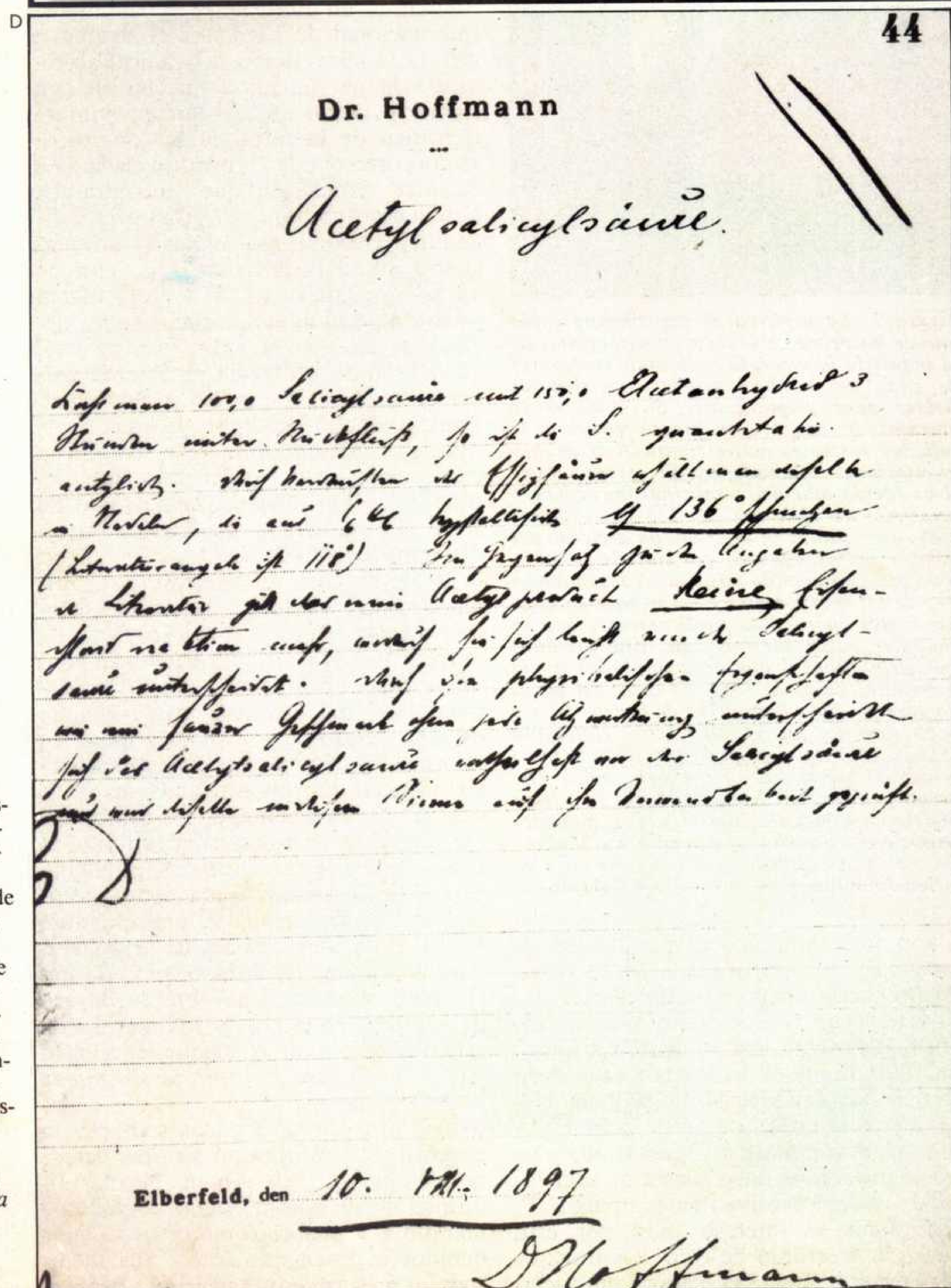
Pero aparecieron algunas sombras en el cuadro: la aspirina no siempre carece de riesgos. Así, el hijo de Nicolás II, último zar de Rusia, estaba afectado de hemofilia y padecía dolores articulares debidos a desangramientos. Sus médicos le prescribieron aspirina. Pero el

Odile Robert, periodista, colabora desde hace años en *La Recherche.* En particular, es la autora del informe acerca de «El diagnóstico prenatal» y con el nombre de Catherine Sceautres de «La detección precoz de los cánceres».
B. Boris Vargaftig, jefe de laboratorio en el Instituto Pasteur, dirige la unidad de venenos y la unidad asociada Instituto Pasteur INSERM (n.º 285) del departamento de fisiopatología experimental.

La aspirina es uno de los medicamentos más poderosos jamás producidos.



D



44

Dr. Hoffmann

Acetylsalicylsäure.

[illegible]

Elberfeld, den 10. VIII. 1897

D. Hoffmann

remedio fue peor que el mal, pues agravó la hemofilia. El monje Rasputín logró convencer a la pareja imperial de la necesidad de renunciar a esta droga moderna y recuperar la fe. Sin aspirina la salud del muchacho mejoró, y naturalmente todo el mérito fue atribuido a Rasputín, cuya ascendencia en la Corte no hizo sino crecer... Hoy sabemos que la aspirina retrasa indirectamente la coagulación de la sangre, y agrava en consecuencia los efectos de la hemofilia al prolongar el tiempo de sangría.

En los años que siguieron a su comercialización, la aspirina llegó a ser un producto de consumo corriente y de «automedicación» como diríamos hoy. Como los médicos ignoraban totalmente las dosis útiles, las indicaciones y contraindicaciones, aprendieron mucho junto a sus pacientes. El planeta, podríamos decir, se había convertido para la aspirina ¡en un inmenso laboratorio de investigaciones y de observaciones! Al cabo de los años, las indicaciones se han precisado y ampliado, las dosis han sido definidas con más precisión, los riesgos mejor calibrados y las presentaciones del medicamento mejoradas, hasta elucidar el mecanismo de acción a fines de los años sesenta.

La economía de la aspirina se aprecia a escala mundial. Por su cifra de negocios, evaluada en mil millones de dólares, figura en la lista de los diez primeros medicamentos. Hoy, su consumo mundial se estima en aproximadamente cuarenta mil toneladas por año, lo que representa el número inimaginable de cien mil millones de comprimidos. Estados Unidos consume del orden de diez a veinte mil toneladas por año, y Francia de mil quinientas a mil ochocientas toneladas. La aspirina representa casi la mitad de las ventas de medicamentos antiálgicos, que anualmente se elevan a unas cuatro mil millones de dosis, es decir de unidades de tomas cualquiera que sea su presentación (comprimido, bolsita, ampolla, etc.). Esta evaluación da una idea de la amplitud del mercado del dolor y de la parte importante que aún tiene la aspirina en este campo.

Figura 2. La salicina (A) que contiene el sauce no es muy buen medicamento para luchar contra las fiebres y las reacciones inflamatorias. El ácido salicílico (B), que es parecido a la salicina, es ya un mejor agente farmacéutico. Pero es mal tolerado. La simple acetilación del ácido salicílico produce una molécula llamada ácido 2 (acetiloxi) benzoico, que no es otra que la aspirina (C). Esta reacción química la elaboró Hoffmann en 1897 según un protocolo escrito de su mano (D).

Por supuesto, en la actualidad el ácido salicílico así como la aspirina pueden producirse por síntesis química. El método de Hoffmann, que consiste en tratar el ácido salicílico por el anhídrido acético en presencia de un poco de ácido sulfúrico como catalizador, todavía se emplea muchísimo, incluso si en ocasiones se utilizan otros protocolos y si además se otorgan patentes para síntesis mejoradas. (Foto Bayer.)

(1) T. Humbert. «Des simples à l'aspirine: l'origine des salicylés», Tesis universidad de Nancy, 1982.
(2) G. Dillemann, «Acide acétylsalicylique et aspirine», comunicación presentada a la sociedad de Historia de la Farmacia en la revista de *Histoire de la pharmacie,* XXIV, n.° 233, junio 1977.

El informe de la defensa precede...

La posología media de la aspirina es del orden de 0,5 a 2 gramos al día para un adulto. En estas condiciones, es activa principalmente en dolores moderados, de origen muscular o vascular como los dolores de cabeza, las neuralgias, los dolores asociados a cualquier proceso inflamatorio. No provoca hábito, lo que representa una enorme ventaja respecto a los analgésicos llamados narcóticos, como la morfina. La aspirina alivia a veces los dolores cancerosos. Con las mismas dosis, ejerce una acción rápida y eficaz sobre la fiebre.

Además, la aspirina posee acción antiinflamatoria. En este campo constituye el medicamento de referencia con relación al que toda nueva sustancia es comparada y evaluada. Es el prototipo de una clase de sustancias heterogéneas por su estructura química, dotadas en diversos grados de las propiedades terapéuticas de la aspirina, pero también de sus efectos secundarios. Este conjunto es reagrupado bajo el nombre de «medicamento tipo aspirina» o incluso de antiinflamatorio no esteroide por oposición a otras sustancias antiinflamatorias pertenecientes a la familia de las hormonas esteroides, ya sean sintéticas (como la dexametasona) o naturales. La inflamación es una respuesta local del organismo ante una agresión de origen infeccioso, mecánico, traumático o incluso inmunológico. Utilizando un proceso extraordinariamente complejo (véase «La reacción inflamatoria: una defensa agresiva» en nuestro número de julio/agosto 1986), constituye un mecanismo de defensa que, excesivo, se vuelve nocivo. Entonces se traduce por unos fenómenos agudos, como la crisis de gota ligada a la presencia de cristales de ácido úrico en las articulaciones, o crónicas si el agresor persiste y mantiene la autoagresión; éste es el caso de la poliartritis reumatoide que induce unas deformaciones articulares importantes, que Renoir hubo de padecer. Las propiedades antiinflamatorias de la aspirina no aparecen más que en dosis superiores a dos gramos al día.

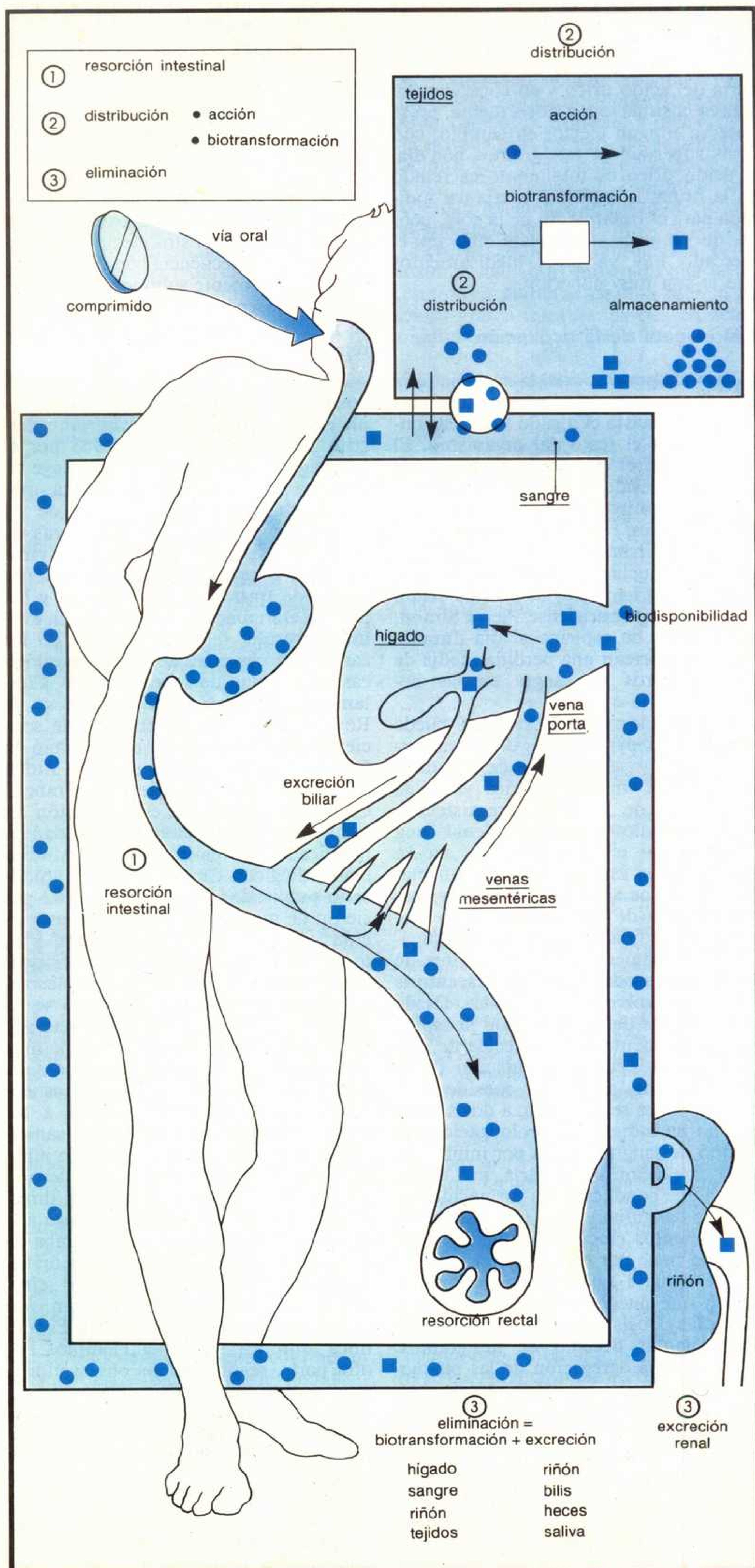


Figura 3. La aspirina se distribuye muy rápidamente en el conjunto del organismo. Según las preparaciones faramacéuticas, las moléculas de aspirina (puntos de colores) son absorbidas por la mucosa gástrica o por la pared intestinal. De allí pasan a la sangre y transitan obligatoriamente por el hígado, antes de ser redistribuidas en el organismo. En un primer paso, algunas moléculas son transformadas por el hígado (los productos de esta transformación están representados por cuadrados en color) y después excretados en la bilis. Este proceso continúa mientras la aspirina está presente en el organismo (por lo demás estos derivados pueden ser recuperados a partir del intestino). En realidad, la aspirina es eliminada sobre todo en la orina, por filtración a nivel del riñón. De este modo, la semipervivencia de la aspirina en el organismo es de unas horas y esta distribución en el conjunto del organismo es una de las claves de la eficacia de este medicamento. (Según documento UPSA.)

Es mejor no dar demasiada aspirina a los niños.

La importancia de la dosis resulta muy ilustrativa en el caso de la gota. A dosis leve, uno o dos gramos al día, la aspirina disminuye la eliminación urinaria del ácido úrico y en consecuencia agrava la situación; a dosis media, no se observa ningún efecto; en cambio, con dosis superiores a tres gramos por día, el ácido úrico es totalmente excretado en la orina; la aspirina estaría así indicada para el tratamiento de la gota, pero ya no es utilizada puesto que en el mercado hay ya unos medicamentos que le son muy superiores.

...Al alegato de la acusación

Tomada por vía oral, la aspirina pasa a la sangre atravesando la mucosa gástrica. Llega hasta el hígado y se distribuye luego en el resto del organismo. El auténtico factor que limita el empleo de la aspirina reside en su toxicidad gástrica; en determinados sujetos puede provocar dolores, vómitos y náuseas. Al ejercer una irritación en la mucosa gástrica, con muchísima frecuencia la aspirina provoca hemorragias ocultas: según el farmacólogo parisiense Pierre Simon, tres gramos de aspirina al día durante tres días acarrean una pérdida media de diez mililitros de sangre en las heces.[2]

A dosis elevadas, la aspirina puede favorecer las hemorragias digestivas exteriorizadas, resultantes ya de una ulceración de la mucosa gástrica ya de la agravación de lesiones preexistentes, como una úlcera gastroduodenal, una hernia hiatal o un cáncer. La acción irritante de la aspirina no fue confirmada sino en los años 1950. Para mejorar la tolerancia de este medicamento fueron emprendidas numerosas investigaciones; condujeron a la obtención de diferentes modalidades farmacéuticas de las que volveremos a hablar. Desde las aventuras del zarevich con la aspirina, el expediente de los efectos de este medicamento en la coagulación de la sangre se ha ampliado considerablemente. Ahora se sabe que, a dosis bajas la aspirina induce una prolongación del tiempo de sangría. Actúa por inhibición de la agregación plaquetaria, una de las etapas que conducen a la formación del coágulo sanguíneo. Así, una sola dosis de seiscientos cincuenta miligramos de aspirina tiene por efecto doblar el tiempo de sangría en personas normales, acción que puede persistir de cuatro a siete días. Dosis repetidas, del orden de unas cuantas decenas de miligramos, reducen ya la agregación de las plaquetas. Esto puede ser una ventaja con riesgo de enfermedades cardiovasculares como el infarto de miocardio, pero puede ser un inconveniente en otras circunstancias: riesgo de hemorragias cerebrales, período de las reglas, etc. Esto no es todo: pueden sobrevenir accidentes de intolerancia en ciertas personas; se trata bien de erupciones cutáneas, de edemas, bien de manifestaciones respiratorias (obstrucciones nasales, crisis de asma, etc.); algunos trastornos auditivos como zumbidos de oído, incluso una sordera, son signo de un principio de intoxicación por sobredosis. La reducción de las dosis o la suspensión del tratamiento hacen desaparecer inmediatamente estas manifestaciones. Además, la aspirina tiene efectos secundarios debidos a su toxicidad en el hígado y el riñón. Estos efectos se observan con mas frecuencia con dosis elevadas y generalmente sobrevienen en sujetos que presentan un terreno patológico en particular reumatismo e insuficiencia renal.

Por último, es preciso mencionar la posible participación de la aspirina en un riesgo mortal, el del síndrome descrito por primera vez en 1963 por el investigador australiano Ralph Reye de Sidney. Este síndrome no afecta más que a niños (en especial antes de un año) y adolescentes; sobreviene tras un episodio infeccioso debido a un virus (varicela o gripe) y se manifiesta por medio de trastornos neurológicos y hepáticos extremadamente graves. La evolución resulta fatal en el 40 % de los casos y se observan secuelas neurológicas en la mitad de supervivientes. Ciertamente, la frecuencia del síndrome de Reye es muy baja: se cuentan de seiscientos a mil doscientos casos al año en Estados Unidos, sesenta en Gran Bretaña y alrededor de diez en Francia. Como el origen de esta afección es totalmente desconocido, su gravedad ha justificado la realización de estudios epidemilógicos. Cuatro de origen americano publicados entre 1980 y 1982 pusieron de manifiesto una posible asociación entre el síndrome de Reye y la toma de aspirina en afecciones víricas como la gripe o la varicela.[4] Incluso si la relación de causa a efecto no se ha demostrado todavía, las sospechas son suficientemente importantes para que, siguiendo el criterio del Ministerio de la Salud, los industriales americanos hayan decidido poner en guardia a los consumidores, y las autoridades sanitarias advertir a los padres. El 10 de junio de 1986, tras un estudio similar llevado a cabo en Gran Bretaña bajo la dirección del Dr. D. Acheson y que llegó a la misma conclusión, este país retiraba de la venta ciertos medicamentos pediátricos que contenían aspirina (*AFP sciences* del 12 junio de 1986). Ningún otro país miembro de la Comunidad Económica Europea siguió el ejemplo. Por otra parte, según algunos observadores, este asunto no tendría más que un aspecto científico. Sería el reflejo de la despiadada guerra económica que librarían los fabricantes de aspirina y los productores de otros antiinflamatorios no esteroides. En efecto, para una acción terapéutica equivalente, el coste de un tratamiento con los nuevos antiinflamatorios es por término medio cinco veces superior al de la aspirina y otros salicilatos.[5]

En las mujeres encintas, la aspirina no tiene efecto teratógeno formalmente probado. Absorbida de manera crónica, puede prolongar la duración de los dolores del parto y aumentar la duración del embarazo. Pasa a través de la barrera placentaria y produce trastornos de la coagulación en la madre y el bebé; parece que el riesgo de hemorragia en el recién nacido sea especialmente elevado si la aspirina es absorbida en la semana precedente del parto. Estos efectos, señalados entre otros, incitan a la vigilancia y a desaconsejar la ingestión de aspirina en la mujer al final del embarazo.

Fin del expediente de acusación: la lista de efectos secundarios ligados a la aspirina puede parecer larga; constituye el precio de su notable eficacia. Su frecuencia es objeto de controversias sin fin. Sin embargo, no cabe duda de que en comparación con el consumo de aspirina, que se cifra en mil millones de comprimidos, los casos de accidentes graves son poco frecuentes.

Hacia una mejor tolerancia de la aspirina

Históricamente, lo primero que los farmacólogos abordaron fue la toxicidad para el estómago. Presentada al principio como una preparación magistral de polvo blanco (fig. 1), a partir de 1904 la aspirina fue preparada en forma de comprimidos en tubos de cristal. Estos comprimidos de origen, llamados «simples», son fabricados por aglomeración de partículas relativamente importantes de aspirina y de excipiente como el almidón; pero he ahí que estas partículas relativamente importantes de aspirina y de excipiente como el almidón; pero he ahí que estas partículas insolubles en el agua tienen una acción corrosiva para la mucosa gástrica. Este importante inconveniente ha forzado a los fabricantes a imaginar nuevas formas farmacéuticas para reducir al máximo el tiempo de contacto entre las partículas de aspirina y la mucosa gástrica, llegando incluso a modificar el lugar de absorción del medicamento haciendo que fuera absorbido por la mucosa intestinal (fig. 3). Las numerosas presentaciones orales elaboradas por los industriales pueden alinearse en dos grandes categorías. Las formas solubles en que la aspirina, asociada a sustancias alcalinas, pasa más rápidamente a la sangre (el tiempo de contacto con la mucosa es pues reducido), son mejor toleradas y tienen una eficacia terapéutica precoz. Los comprimidos efervescentes añaden a esta venataja un factor de seguridad, ya que la reacción de efervescencia sobre la lengua es muy desagradable y los niños arrojan inmediatamente el comprimido tomado por un caramelo, punto nada desdeñable ya que la intoxica-

(3) P. Simon, *Pharmaco à doses filées*, Ed. Le quotidien du Médicin, 1983.
(4) E.S. Huzwitz *et al.*, *N. Engl. J. Med.*, *313*, 849, 1985.
(5) L.S. Simon, J.A. Mills, *N. Engl. J. Med.*, *302*, 1237, 1980.

ción medicamentosa por aspirina es muy frecuente. Estas formas solubles son apropiadas cuando se busca un efecto rápido sobre el dolor o la fiebre. En las formas llamadas entéricas, los comprimidos están revestidos de una película que resiste a la acidez gástrica. La aspirina no es absorbida más que a nivel del intestino delgado; la contrapartida es una liberación retardada del principio activo, acompañada de una elevada concentración portal que permitiría, según G. de Gaetano, favorecer la acetilación de las plaquetas sin dejar de preservar la de los vasos. El efecto «retardado» de estas formas está indicado en la búsqueda de un acción antiinflamatoria en el tratamiento de los dolores reumáticos.

El mecanismo de acción de la aspirina

Fiebre, dolor e inflamación son, recordémoslo, los tres síntomas sobre los cuales la aspirina actúa eficazmente. Pero ¿por medio de qué mecanismo? En 1963, un farmacólogo británico, Harry Collier, avanzó la idea, a la luz de sus investigaciones y de otras, de que la aspirina debía oponerse a algún proceso puesto en juego en el momento de las reacciones de defensa del organismo y que tenía en común el provocar fiebre, dolor e inflamación, en otras palabras, un proceso ligado al establecimiento de las reacciones inflamatorias. Entre los posibles blancos de la aspirina se encontraban prostaglandinas (PGS), sustancias lipídicas descubiertas en 1930 y dotadas de propiedades biológicas y farmacológicas variadas y poderosas. Producidas en el organismo por la mayoría de tejidos al término de un proceso enzimático muy complejo, son sintetizadas en el hombre a partir de un precursor, el ácido araquidónico, presente en las membranas celulares. Este ácido, liberado por un enzima llamado fosfolipasa A_2, lugo es transformado según dos grandes vías metabólicas llamadas de las lipoxigenasas y de la ciclooxigenasa y llevando respectivamente a dos grupos de moléculas, los leucotrienos y las prostaglandinas (fig. 4). Las prostaglandinas no son almacenadas en las células, sino sintetizadas *de novo* en respuesta a cualquier lesión celular de origen químico o mecánico. De este modo participan en numerosísimos procesos y en particular en la inflamación, el desencadenamiento de las contracciones uterinas e incluso en la hemostasis.

En la época en que Harry Collier daba a conocer su hipótesis, el equipo de John Vane en el Royal College of Surgeons de Londres proseguía activas investigaciones sobre la producción de prostaglandinas. Con este propósito había elaborado un método de cuantificación biológica completamente original, que había permitido la identificación de una sustancia inestable llamada «RCS» liberada en las reacciones denominadas de choque anafiláctico (reacción de origen inmunológico que sobreviene cuando un animal es expuesto a una sustancia extraña, tras un período de sensibilización). Vane descubrió después de que la aspirina inhibía la biosíntesis del RCS, sin relacionar aún este efecto con las prostaglandinas.

Pero he aquí que, también en 1969, nosotros habíamos mostrado que la inyección en animales de una mezcla de ácidos grasos insaturados rica en ácido araquidónico provocaba unos síntomas idénticos a los que caracterizan el choque anafiláctico, síntomas que no tenían lugar cuando los animales eran tratados con un antiinflamatorio no esteroideo (AINS). Esto, y los primeros trabajos de Vane, nos llevaron a mostrar en 1970 que el ácido araquidónico es el precursor de la RCS y que esta biosíntesis es suprimida por los AINS.[6] Por entonces se sabía que la prostaglandina E_2 (PGE_2) provoca el rubor, el edema y el dolor de la inflamación, y Vane pudo proponer, en un célebre artículo publicado en 1971,[7], una explicación coherente referente al modo de acción de la aspirina. Se resume en unas pocas palabras: la aspirina y los AINS inhiben la síntesis de las prostaglandinas. La publicación de Vane, que tuvo gran eco, iba acompañada en el mismo

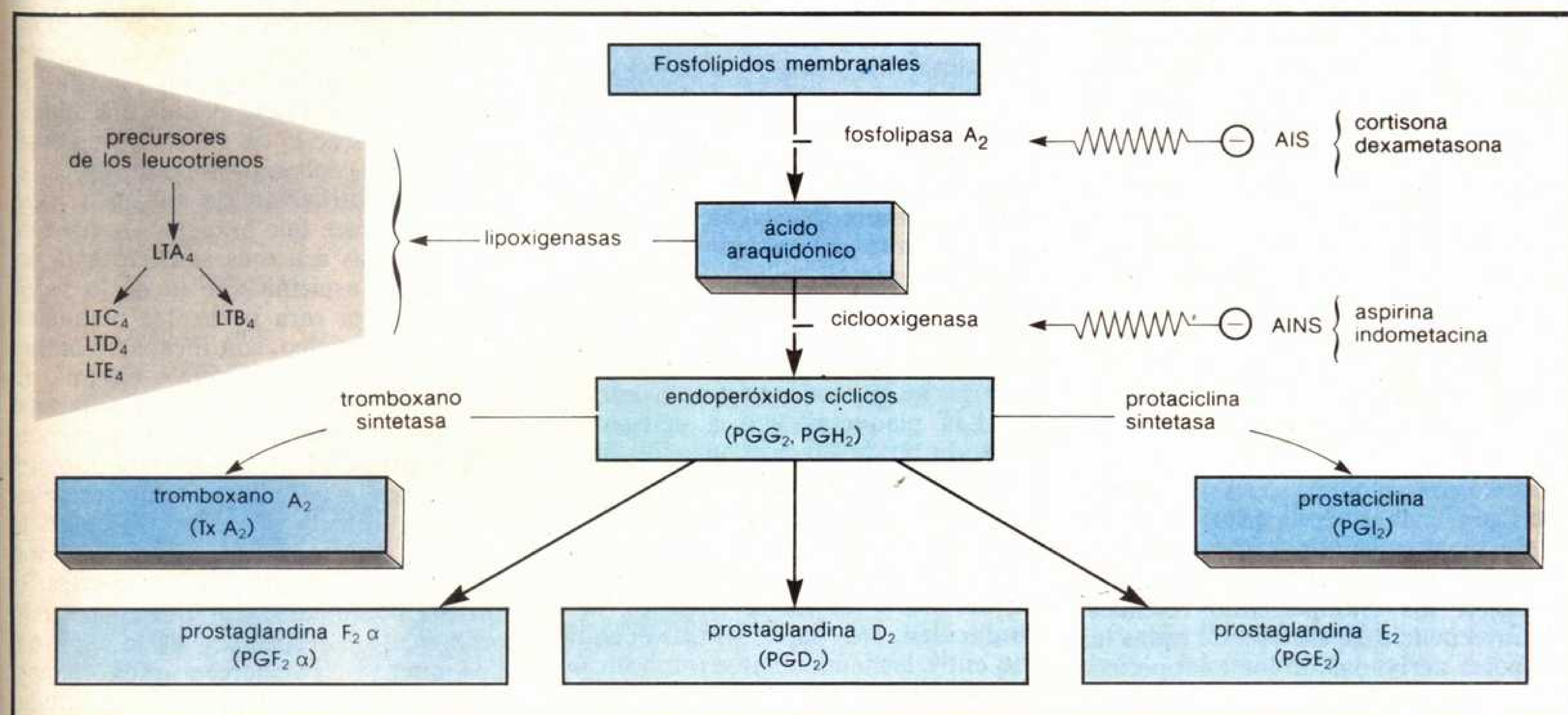


Figura 4. Los efectos extraordinariamente diversos de la aspirina no han podido ser apreciados sino cuando se ha comprendido la biosíntesis de las sustancias responsables de la reacción inflamatoria. Un componente de la membrana celular, el ácido araquidónico, es arrancado de esta última por un enzima, la fosfolipasa A_2. En esta figura están representados los diferentes sinos de las moléculas del ácido araquidónico cuando son captadas por diferentes sistemas enzimáticos. Señalemos que este esquema es una síntesis: todas las células del organismo no poseen el conjunto de equipamientos enzimáticos presentados aquí. Los enzimas llamados lipoxigenasas transforman el ácido araquidónico en leucotrienos, poderosos promotores de las reacciones inflamatorias. El enzima ciclooxigenasa, que modifica profundamente la estructura química del ácido araquidónico, da origen a unas moléculas llamadas endoperóxidos cíclicos de las prostaglandinas; a partir de estas últimas, pueden ser producidas la trombosina A_2 y la prostaciclina, moléculas que actúan sobre la activación de las plaquetas u otras prostaglandinas que participan en el proceso de la inflamación. En tanto que los antiinflamatorios esteroides (AIS) bloquean la liberación de ácido araquidónico, los antiinflamatorios no esteroides (AINS), cuyo prototipo es la aspirina, bloquean la actividad de la ciclooxigenasa. (Según un esquema de M. Hatmi.)

(6) B.B. Vargaftig, N. Dao, *Pharmacology, 6,* 99, 1971.
(7) J.R. Vane, *Nature, 231,* 232, 1971.
(8) J.B. Smith, J. Willis, *Nature, 231,* 235, 1971.

número de la revista británica *Nature* por otros dos estudios. El primero estaba firmado por Bryan Smith y Jim Willis,[8] jóvenes investigadores del mismo instituto que Vane, y que trabajaban independientemente; mostraba que en unos voluntarios que habían absorbido aspirina, las plaquetas sanguíneas, responsables de la hemostasis primaria, no producían PGS. El segundo lo firmaban S. Ferrerira y S. Moncada, íntimos colaboradores de Vane y que conocían bien nuestros trabajos en los pulmones de cobaya; mostraba que la aspirina impide igualmente la liberación de PGS en el perro.[9] Como dice Ferreira, *«algunas publicaciones se vuelven clásicas en seguida»* y *«el hecho de que Vane y sus colegas hubieran demostrado antes que los pulmones metabolizaban los mediadores permitió continuas referencias a nuestros trabajos iniciales. Desgraciadamente, otras importantes publicaciones son «clásicos ignorados» porque... no han sido efectuados en un laboratorio capaz de mantener un suministro constante de citaciones durante un tiempo suficiente».*[10]

Los efectos de la aspirina: un martillazo sobre los procesos inflamatorios

La aspirina bloquea pues la síntesis de las prostaglandinas a nivel del enzima (la ciclooxigenasa) que transforma el ácido araquidónico en sustancias inestables, los endoperóxidos cíclicos. En consecuencia, la síntesis de todas las sustancias derivadas de los endoperóxidos es inhibida (fig. 4); en otros términos, otras moléculas que las prostaglandinas ven su producción modificada por la aspirina. Ahora bien, los productos de transformación de los endoperóxidos difieren según los tejidos. Entre estos productos figuran dos sustancias que desempeñan un cometido importante en la agregación de las plaquetas sanguíneas y, por consiguiente, en la formación del coágulo *in vivo:* el tromboxano A_2 (TXA_2), formado especialmente por las plaquetas sanguíneas estimuladas con el ácido araquidónico,[11] es un poderoso agregante plaquetario; su producción es bloquedada por la aspirina y los AINS;[12] la prostaciclina o PG12, descubierta e identificada por S. Moncada y J. Vane,[13] es secretada por la pared de los vasos sanguíneos; es un potente inhibidor de la agregación plaquetaria, capaz en consecuencia de impedir la formación de coágulos sanguíneos en los vasos sanos. La prostaciclina es el más potente antiagregante plaquetario natural conocido hasta el momento.

Los endoperóxidos cíclicos son pues los precursores de dos sustancias cuyas propiedades biológicas son diametralmente opuestas: el TXA_2 favorece la agregación plaquetaria, mientras que la PGI_2 la inhibe. S. Moncada y J. Vane propusieron entonces la hipótesis de que el equilibrio en el seno del sistema cardiovascular está asegurado por la adecuada formación de estas dos sustancias. La ruptura del equilibro podría dar lugar a numerosos procesos patológicos, en primer lugar de formación de coágulos origen de accidentes cardiovasculares.

Esta hipótesis permitiría comprender el «diálogo bioquímico» que se establece entre el vaso sanguíneo y las plaquetas. Cuando la pared está intacta, las plaquetas que tratan de adherirse son rechazadas por la prostaciclina. Según esta teoría, la prostaciclina tendría así un cometido de protección de la pared contra el depósito de agragados plaquetarios y, en consecuencia, contra la obstrucción de los vasos. Si la pared vascular está poco lesionada, este cometido protector no es cuestionado: sin embargo, la prostaciclina no impide la adherencia de las plaquetas en la pared lesionada. En cambio, si la brecha vascular es importante o si en el vaso hay un depósito lipídico (placa de ateroma, como en el caso de la aterosclerosis), la prostaciclina ya no podrá ejercer su efecto protector. El equilibrio será roto en favor de la producción de tromboxano. Las plaquetas van a agregarse y favorecer la formación ulterior de un coágulo sanguíneo responsable entonces de accidentes trombóticos, como en el infarto de miocardio (fig. 5).

Esta ingeniosa teoría tiene las ventajas, así como los inconvenientes, de la simplicidad. Hoy sabemos que el equilibrio entre las tendencias «trombótica» y «hemorrágica» no resulta únicamente de la formación adecuada de TXA_2 y de PGI_2. Si una formación constante y equilibrada de PGI_2 por los vasos era tan indispensable como se ha pretendido (se ha hablado incluso de PGI_2 como hormona circulante) los AINS y por consiguiente la aspirina deberían agravar o incluso desencadenar trombosis arteriales, por falta de PGI_2, lo que raramente sucede. En realidad, la aspirina agrava ciertas enfermedades hemorrágicas, lo que muestra efectivamente la complejidad del problema.

Estos trabajos valieron en 1982 el premio Nobel de Medicina a John Vane (con B. Samuelsson y B. Bergström) *«por el descubrimiento de la prostaciclina y el análisis detallado que ha hecho de la función y de los efectos de esta sustancia».* Se menciona igualmente que a él corresponde el descubrimiento del modo de acción de la aspirina. Vane ha sido un investigador afortunado, ya que otros no estaban muy lejos de la meta; nosotros mismos, que habíamos demostrado que la RCS (= TXA_2) es un metabolito del ácido araquidónico cuya formación es bloqueada por los AINS; y sobre todo Harry Collier cuando adelantaba la idea de que la aspirina podía oponerse a la acción de las prostaglandinas y escribía a Vane: *«Si se confirma, como es probable, que os habéis convertido en el Jesucristo de la aspirina, yo creo poder reivindicar el papel de Juan Bautista».*[14]

¿Nuevas aplicaciones terapéuticas de la aspirina?

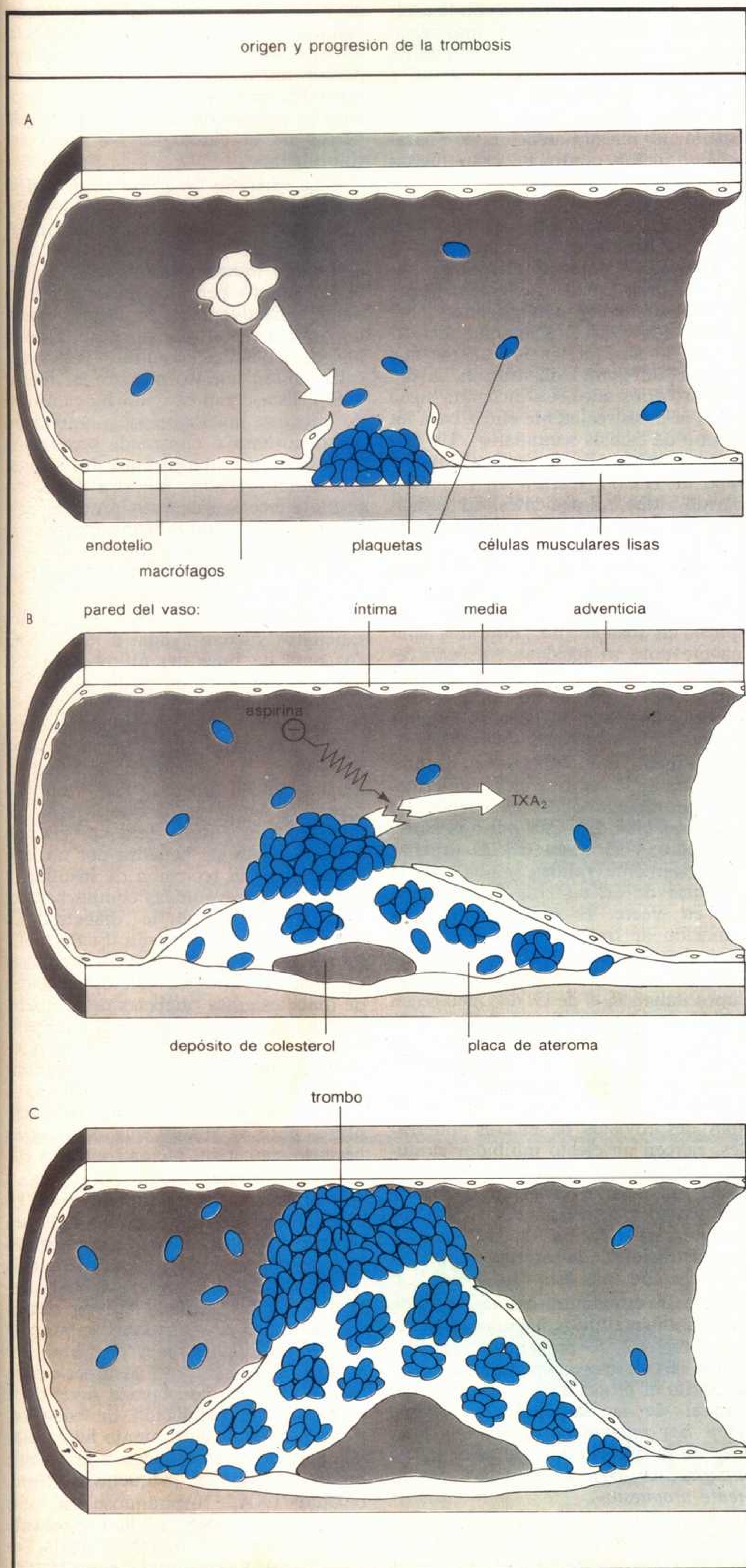
¡Vemos a qué excesos de lenguaje puede llevar la milagrosa aspirina! En cualquier caso, el descubrimiento de la prostaciclina tuvo por consecuencia el suscitar un nuevo interés en la aspirina y su uso potencial en la prevención o el tratamiento de las trombopatías.

En efecto, al inhibir la ciclooxigenasa, la aspirina bloquea la producción de tromboxano A_2 y de prostaciclina PGI_2. La experiencia ha mostrado que a leves dosis de aspirina (40 mg al día) la producción de TXA_2 es más fuertemente inhibida que la de PGI_2. Leves dosis de aspirina deberían reducir, pues, el riesgo de formación de coágulos indeseables. Parece que la ciclooxigenasa de las plaquetas sea más sensible a la acción de la aspirina que la de la pared vascular. Por otra parte, las plaquetas, al no tener núcleo, son incapaces entonces de regenerar un nuevo enzima. El efecto inhibidor se ejerce pues durante toda la duración de vida de una plaqueta, digamos de 8 a 11 días en el hombre. En cambio, al ser rápidamente regenerado el enzima de la pared vascular, la aspirina deprimirá menos la formación de la PGI_2. La capacidad de bloquear el enzima plaquetario durante un período prolongado es específica de la aspirina. Los otros AINS ejercen unos efectos, por medio de otros mecanismos moleculares, más pasajeros.

Al menos a nivel de principio, la aspirina podría desempeñar un nuevo cometido en Medicina: el de protector en las enfermedades de trombosis (infarto de miocardio o accidentes vasculares cerebrales). La aspririna no acaba pues de sorprendernos: esta sustancia poco costosa, introducida en el mercado en 1899 en menos de tres meses, lanza hoy un desafío extraordinario pretendiendo rivalizar con elaboradísimos medicamentos que han requerido años de investigación e inversiones que se cifran en varios millares de millones de pesetas. ¿Podrá la aspirina prevenir mañana las enfermedades vasculares? A esta cuestión tratan de responder las pruebas clínicas emprendidas desde los años 1970.

La prueba de la eficacia de un medicamento es extraordinariamente compleja. El único medio de determinarla es mediante la realización de ensayos clínicos a gran escala. Estos ensayos son complejos y costosos, ya que para ser válidos deben responder a un cierto número de criterios: deben ser predictivos (prospectivos), interesar a varios centros de investigaciones para incluir un máximo de efectivos y ser realizados a ciegas por partida doble, es decir, sin

(9) S.H. Ferreira *et al.*, *Nature, 231*, 237, 1971.
(10) S.H. Ferreira, *Current Contents, 51*, 18, 1983.
(11) M. Hamberg *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 72*, 2994, 1975.
(12) B.B. Vargaftig, P. Zirinis, *Nature, 244*, 114, 1973.
(13) S. Moncada *et al.*, *Nature, 263*, 663, 1976.
(14) H.O.J. Collier, «The story of aspirin», *in Discoveries in pharmacology*, M.J. Parnham *et al.*, (ed.), vol. 2, Elsevier, 1984.



que los médicos que evalúan los resultados, ni los pacientes puedan distinguir el medicamento mismo del placebo. Como en todo estudio epidemiológico humano, la elección de las poblaciones ensayos y de las poblaciones control, la elección de los criterios de evaluación siguen siendo muy difíciles. Igualmente, estas exigencias explican que hasta hoy el número de ensayos de apreciación de los efectos de la aspirina sea todavía restringido.

En el campo de la enfermedad coronaria se han realizado seis estudios internacionales acerca de la aspirina. En total, conciernen a 11 000 pacientes que ya hayan tenido un infarto de miocardio. Se trata pues de ensayos de prevención llamada secundaria, es decir, de apreciación del riesgo de recaída, con tomas de aspirina en dosis diarias bastante elevadas (de 0,3 a 1,5 g). Con ayuda de una técnica epidemiológica compleja, los resultados de estos seis ensayos pueden ser comparados y combinados. Ninguno de estos estudios, tomado individualmente, es concluyente pero su combinación hace aparecer una reducción de la mortalidad del 8 al 10 % en el grupo tratado con la aspirina,[15] resultado ciertamente modesto, pero a pesar de todo significativo. En Francia, una encuesta, llamada de prevención secundaria del infarto dirigida por Jean-Pierre Boissel (Lyon), no mostraba ningún beneficio real de la aspirina en relación con los anticoagulantes orales.[16]

Paralelamente a estos ensayos, la *Veteran's Administration* daba a conocer a mediados de los años 1970 un estudio (publicado en 1983) acerca de la prevención del infarto de miocardio en hombres que padecen un síndrome de amenaza.[17] Este síndrome que los ame-

Figura 5. Recientes investigaciones epidemiológicas muestran que la aspirina podría revelarse útil en la prevención e incluso tratamiento del infarto de miocardio. Sin embargo, la manera en que representamos su efecto es totalmente teórico. Al principio, una pequeña lesión de las células que tapizan el interior de los vasos sanguíneos activa las plaquetas sanguíneas que se agregan y forman entonces un pequeño trombo (A). Las plaquetas segregan entonces unas sustancias que atraen a ciertos glóbulos blancos, los macrófagos, que se fijan en los lugares de la lesión y contribuye a acumular colesterol (B).

El diámetro de la arteria coronaria se reduce progresivamente y, si la reducción llega a ser excesiva (C), la arteria puede obstruirse, bloqueando la circulación sanguínea coronaria y causando una necrosis del tejido cardíaco que ha dejado de ser irrigado. ¿Dónde actúa pues la aspirina en este asunto? Las plaquetas sanguíneas producen tromboxano, poderoso inductor de su agregación. Las células endoteliales del vaso producen prostaciclina, que rechaza las plaquetas. Ahora bien, la aspirina inhibe la producción de una y otra sustancia. Simplemente, inhibe más potente y más duraderamente la producción de tromboxano, el factor agregante de las plaquetas: por consiguiente, la aspirina desempeña el papel de antiagregante plaquetario, y es precisamente esta actividad la que se investiga en la lucha contra el infarto.

(15) P. L. Canner, *Israel J. Med. Sc., 19,* 413, 1983.
(16) The EPSIM Research Group, *N. Engl. J. Med., 307,* 701, 1982.
(17) H.D. Lewis, *N. Engl. J. Med., 309,* 396, 1983.

ricanos llaman el *«angor inestable»* en ocasiones precede al ataque cardíaco. Muy amenazados por el infarto, estos pacientes están sujetos a paros transitorios de la circulación sanguínea. Así, 1 266 hombres han tomado una dosis diaria moderada de 324 mg de aspirina amortiguada o de placebo durante 12 semanas. Los resultados son significativos, ya que la aspirina ha reducido un 55 % la frecuencia del infarto. Se ha observado una reducción similar de la mortalidad.

De este modo, por primera vez, un estudio ponía de manifiesto claramente un efecto muy benéfico de la aspirina en el tratamiento de una afección cardiovascular. En sus conclusiones, los autores sugerían que la dosis ya moderada de trescientos veinticuatro miligramos al día incluso podría ser disminuida para reducir los efectos secundarios no deseados de este medicamento.

Este estudio tuvo un gran impacto, pues desde octubre de 1985 la *Food and Drug Administration,* reconociendo el enorme interés de este resultado, recomendaba la utilización diaria de trescientos veinticinco miligramos de aspirina para la prevención de un segundo ataque cardíaco y en el tratamiento del síndrome de amenaza. Según el Ministerio de Sanidad americano, tal medida podría salvar la vida de treinta mil a cincuenta mil personas por año por millón y medio de norteamericanos que padecen un ataque cardíaco. El entusiasmo de las autoridades se refleja en los titulares de la prensa anglosajona: «Aspirin a day keeps heart attack away» *(USA Today)* o «Aspirin a day does the trick» *(Sunday Times).*

¿Será recomendada un día para cada uno de nosotros la toma diaria de un comprimido de aspirina? Primero sería necesario determinar el efecto a largo plazo de una toma regular de aspirina por sujetos sanos en la incidencia de enfermedades coronarias. Tal ensayo prospectivo fue dado a conocer en 1979 por dos epidemiólogos ingleses. Desde hace siete años, cinco mil médicos ingleses, voluntarios sanos nacidos después de 1930, toman cada día un comprimido de aspirina. Los resultados de este estudio, muy esperados, deberían conocerse próximamente. Otro ensayo que responde al mismo objetivo y elaborado por C.H. Hennekens, de Boston, interesa a 20 000 médicos americanos.

El segundo campo de las enfermedades vasculares en el que la aspirina podría ofrecer un interés terapéutico concierne a los accidentes vasculares cerebrales, tercera causa de mortalidad en los países industrializados. La prevención reviste tanta más importancia cuanto que el tratamiento sigue siendo limitado y que los sujetos afectados de infarto cerebral mantienen en una elevada proporción, un 50 % según los especialistas, algunas secuelas graves, como minusvalía física o intelectual. Entre los ensayos realizados con la aspirina, dos estudios capitales, uno canadiense[18] llevado a cabo por le equipo de M. Gent en Hamilton (Ontario), y otro francés dirigido por el equipo de M.G. Bousser[19] en París, merecen especialmente nuestra atención; comparables en muchos puntos de vista, fueron realizados en hombres que habían sufrido accidentes de interrupción transitoria de la circulación cerebral que, igual que el síndrome de amenaza para el corazón, son señales de alarma del infarto cerebral. En los dos ensayos, este riesgo de sobrevenimiento del accidente fue reducido considerablemente, del orden del 35 al 40 %, en los sujetos que tomaban un gramo de aspirina al día durante varios años. La incógnita sigue siendo la dosis realmente eficaz para un mínimo de efectos secundarios. Un importante estudio inglés realizado por el grupo de H.C.P. Warlow en Oxford y referido a tres mil pacientes está actualmente en curso. Tiene por objeto comparar la eficacia de la aspirina en dosis baja (300 mg) y en dosis alta (1200 mg al día). Los resultados preliminares estarían a favor del efecto protector de la aspirina en dosis media. ¿Podría la aspirina prevenir un accidente vascular cerebral en sujetos sanos? A esta cuestión responderán quizá los dos ensayos que están efectuando en Inglaterra y Estados Unidos con los médicos voluntarios.

En realidad, la dificultad para evaluar la eficacia de la aspirina en las enfermedades tromboembólicas provienen de dos causas bien distintas: por una parte, la pesadez y el costo de las pruebas estadísticamente válidas, y por otra, la existencia de un «dilema de la aspirina»: en efecto, es preciso inhibir la formación de tromboxano (TXA_2), sin dejar de respetar la de prostaciclina (PGI_2). Los recientes estudios de dos grupos italianos, el de G. de Gaetano en el Insituto Mario Negri de Milán y de C. Patrono de la Universidad Católica de Roma, son a este respecto reveladores: muestran que levísimas dosis de aspirina (en torno a 50 mg al día), que están desprovistas de efectos indeseables, ejercen un efecto inhibidor cumulativo en la formación plaquetaria de TXA_2, sin dejar de respetar la formación vascular de PGI_2. Por lo demás, una juiciosa elección de las vías de administración de la aspirina permitiría favorecer aún más esta disociación.

Quizás es prematura extraer de estos ensayos una actitud terapéutica definitiva en materia de prevención de accidentes vasculares cerebrales; pero como ha escrito el profesor M.G. Bousser del hospital de la Salpêtrière de París: *«Hoy, hay muchos más argumentos en favor de la aspirina que en favor de no importa qué otro tratamiento actualmente propuesto».*

Así, aparte de sus indicaciones clásicas en la fiebre, el dolor y la inflamación, la aspirina está a punto de aspirar al prestigioso título de antiagregante plaquetario. Al parecer no hemos agotado sus méritos. Es lo que permiten pensar los numerosos estudios fundamentales proseguidos desde hace unos años en campos extraordinariamente diversos de la patología. No citaremos sino algunos.

– La catarata. En 1981, un investigador americano, E. Cotlier (Yale University) hizo la siguiente comprobación: las personas que padecen poliartritis reumatoide y toman aspirina en dosis elevadas durante períodos prolongados están significativamente protegidas contra la catarata, patología que resulta de la opacificación del cristalino (véase «La catarata» en nuestro número de marzo 1986). Esta comprobación ha estimulado muchas investigaciones, y está en curso un ensayo clínico de prevención de la catarata con aspirina a dosis bajas. Un estudio reciente muestra que la aspirina ejercería su efecto protector por su capacidad de modificar químicamente (acetilándolas) las proteínas del cristalino, cuya resistencia a la opacificación se vería así acrecentada.[20]

– La diabetes. La idea de que los salicilatos puedan ayudar a los diabéticos data de fines del último siglo. Se había mostrado entonces que el salicilato de sosa disminuye el nivel de glucosa en la orina. Unos trabajos recientes (1974) mostraron que la prostaglandina E_2 bloquea la secreción de insulina inducida por la glucosa. Este resultado inspiró la hipótesis de que la aspirina, que inhibe la síntesis de las prostaglandinas, pudiera ser benéfica por un lado al estimular la secreción de insulina, y por otro al prevenir las complicaciones microvasculares de la diabetes. En 1984, el doctor P. Pozzilli (St Bartholomew's Hospital, Londres) dio a conocer un estudio piloto en sujetos afectados de diabetes grasa (diabetes de la madurez). Estos pacientes toman diariamente además de su tratamiento o régimen habitual, un gramo de aspirina durante todo un año. Todavía es demasiado pronto para apreciar los efectos a largo plazo, pero ya parece que, la aspirina permite ejercer un mejor control metabólico de la enfermedad.

– El retraso del crecimiento fetal. La hipertensión arterial, cualquiera que sea su origen en el transcurso del embarazo hace correr un elevado riesgo de retraso (incluso paralización) del crecimiento fetal y de precocidad. Ambos riesgos son el origen de una parte importante de la mortalidad natal y perinatal. Por otra parte, se sabe que la hipertensión induce lesiones vasculares a nivel de la placenta, con formación de coágulos. Responsables de sufrimiento fetal, estos fenómenos serían debidos a la crecida producción por las plaquetas de tromboxano TXA_2. Inspirándose en estos hallazgos recientes, se han efectuado dos estudios, uno francés dirigido por M. Beaufils del hospital Tenon (París),

(18) The Canadian cooperative study group (CCSG), *N. Engl. J. Med. 299,* 53, 1978.
(19) M.G. Bousser *et al., Revue de neurologie, 139,* 335, 1983.
(20) M. Crompton *et al., Exp. Eye. Res., 40,* 297, 1985.
(21) M. Beaufils, *Lancet, i,* 840, 1985.
(22) G.C.S. Wallenburg, *Lancent, i,* 1, 1986.

otro holandés por H.C.S. Wallenburg de la universidad Erasmus (Rotterdam), con el objeto de evaluar el interés de la aspirina en dosis baja en la prevención de lesiones placentarias. Ambos estudios, realizados con pequeños efectivos, han dado no obstante unos resultados alentadores. Pero, como subrayan los propios autores, necesitarían ser confirmados con estudios de mayor envergadura.[21,22]

Los límites del campo terapéutico de la aspirina parecen ampliarse cada día; en efecto, el beneficio de la aspirina se encuentra en fase de exploración para con otras patologías, como la diarrea o la osteoporosis (atrofia del tejido óseo).

La aspirina, fecundo instrumento de investigaciones

Sin embargo, no todo resulta claro en los efectos de la aspirina. Tomemos el caso de su acción sobre el dolor: las prostaglandinas reducen el umbral de sensibilidad de los receptores al dolor, especialmente en unos mediadores de este último que, como la bradiquinina o la histamina, son liberados en el foco inflamatorio (véase «La reacción inflamatoria: una defensa agresiva» en nuestro número de julio-agosto 1986). Desde entonces, para explicar la actividad antiálgica de la aspirina, la hipótesis de Vane no se aplica más que para los dolores que acompañan un proceso inflamatorio. Los efectos de la aspirina sobre los otros colores ponen en fuego unos mecanismos todavía desconocidos.

La acción irritante de la aspirina en el estómago sería debida a su acción inhibidora sobre la síntesis de las prostaglandinas que normalmente protegen la mucosa contra la acidez gástrica. Es igualmente el caso de la prolongación del tiempo de sangría por bloqueo de la producción de TXA_2 en las plaquetas, o incluso de la prolongación del embarazo, ya que se sabe que la biosíntesis de ciertas prostaglandinas aumenta de manera drástica en las horas que preceden al parto.

Curiosamente, el efecto antiinflamatorio de la aspirina y de otros AINS es el más difícil de explicar por la sola inhibición de la producción de prostaglandinas. ¿Cómo explicar que el paracetamol, el más serio competidor de la aspirina, que también inhibe la ciclooxigenasa, no tenga acción antiinflamatoria, o incluso que el salicilato de sosa sea un buen antiinflamatorio aun sin inhibir la biosíntesis de las prostaglandinas? Por un instante, estas cuestiones han quedado sin respuesta ya que la hipótesis de Vane, por la pasión que ha suscitado, ha eclipsado un poco todas las demás tentativas de explicación, anclando en el espíritu de los investigadores la idea de que las prostaglandinas desempeñaban un papel capital, si no exclusivo, en el proceso antiinflamatorio. Pero he ahí que se reveló con bastante rapidez que si la aspirina alivia eficazmente los síntomas de inflamación, en cambio es incapaz de impedir su progresión hacia la cronicidad. Por consiguiente, no actuaría sino sobre uno de los componentes, y es probable que entren en juego otras vías metabólicas y otros mediadores en el proceso de la inflamación crónica. Actualmente los investigadores tratan de comprender la naturaleza y el cometido exacto de mediadores descubiertos muy recientemente como los leucotrienos, sustancias proinflamatorias que derivan de la vía de la lipoxigenasa, o incluso el PAF-acéter descubierto por un investigador francés,⁺Jacques Benveniste.

Así pues, la aspirina sigue estimulando un número considerable de investigaciones. En este sentido, la hipótesis de Vane, aunque no pueda pretender una explicación global, se revela de gran fecundidad. Ha hecho de la aspirina un instrumento de investigación excelente ya que ha hecho progresar nuestra comprensión de un sistema extraordinariamente complejo en sus regulaciones y que se encuentra implicado en algunas manifestaciones patológicas tan diversas como la alergia, los reumatismos y las enfermedades cardiovasculares, para no citar sino unas cuantas.

La aspirina, de un siglo a otro

Así, la causa de la aspirina se comprende: la aspirina es incontestablemente un medicamento excepcional. Muchos farmacólogos competentes estiman que hoy la aspirina, con sus numerosos efectos secundarios, tendría muchas dificultades en franquear las etapas cada vez más selectivas que conducen a la autorización de introducción en el mercado de un nuevo medicamento. La historia de la aspirina, cuya partida de nacimiento es del 1 de febrero de 1899, obliga a reflexionar. En efecto, esta sustancia casi secular, dejada a salvo incluso por la obsolescencia tan normal en nuestros días, es sin duda el medicamento más moderno y a la vez menos costoso de que dispone la farmacopea con vocación universal. Porque, todo hace creer, como escribió poco antes de su muerte el farmacólogo Harry Collier, que *«el futuro de la aspirina se anuncia más prometedor aún que su pasado»*. Predicción que hacen suya un número siempre creciente de clínicos e investigadores. Proceso ganado.

Para más información:

- *Aspirin Symposium 1983*, The Royal society of medicine, Oxford university press, 1984.
- Goodman and Gilman's, *The pharmacological Basis of therapeutics*, 7.ª ed. Macmillan publishing co. inc., Nueva York.
- Thierry Humbert, *«Des simples à l'aspirine: l'origine des saicylés»*, Tesis universidad de Nancy, 1982.

- Para una bibliografía más completa véase la página 112.

Las sorprendentes prediccio

por Franck Laloë



La mecánica cuántica es sorprendente en más de un aspecto. Ante todo, por dar una descripción de los fenómenos físicos que escapa a menudo a la intuición y entra en contradicción con una concepción muy natural de la realidad. Luego, porque en muchos casos esta teoría es más fácil de aplicar que de comprender. Es sorprendente también porque todas sus predicciones, incluso las más desconcertantes, se han cumplido hasta hoy en todos los grandes campos de la física

La trayectoria de un planeta o de un satélite, las vibraciones de una cuerda de guitarra o el movimiento de la atmósfera alrededor del Sol son fenómenos que cabe describir en el marco de la mecánica clásica. Pero ésta es incapaz de calcular los niveles energéticos de un átomo o de una molécula, de explicar el comportamiento de los electrones de un sólido, etc. Para ello, hay que recurrir a una teoría más general, la mecánica cuántica, que da cuenta de todos esos fenómenos. En muchos aspectos, sin embargo, esta teoría da una descripción de los fenómenos físicos que escapa a menudo a la intuición y conduce a unas predicciones que pueden ser consideradas como paradójicas. Un ejemplo bien conocido es la posibilidad de que una partícula pase a la vez por dos orificios distintos e interfiera consigo misma. Estas dificultades de comprensión en modo alguno habían pasado inadvertidas a los padres fundadores de la mecánica cuántica, como se desprende de numerosas discusiones que les dedicaron Werner Heisenberg, Niels Bohr, Paul A.M. Dirac y tantos otros. Pero, aunque en física una teoría ha de satisfacer un cierto número de criterios rigurosos para ser considerada satisfactoria, ¡no es preciso que sea intuitiva! Por ello, debido al poder predictivo del que rápidamente hizo gala, sobre todo en física atómica, la mecánica cuántica no tardó en imponerse.

Desde entonces, la lista de sus éxitos, tanto en física molecular como en física del estado sólido, física nuclear o teoría de campos, no ha dejado de aumentar. En todas estas esferas, la mecánica cuántica se ha convertido en una herramienta de eficacia universalmente reconocida. Pero ello no es óbice para que los físicos sigan preguntándose por el papel exacto y la significación de los conceptos en los que descansa su interpretación actual. Pues hay que distinguir bien entre las *predicciones* de una teoría –esenciales, ya que se refieren a resultados de medidas y permiten así una comparación con los experimentos– y su *interpretación.* Las mismas predicciones pueden interpretarse a veces en marcos conceptuales muy distintos. Albert Einstein, que desempeñó un papel tan esencial en el nacimiento de la física moderna, se interesó mucho por la mecánica cuántica, a veces desde un punto de vista muy crítico. Su sentido físico le decía que la exactitud de las predicciones de la teoría no era razón suficiente para aceptar la interpretación probabilista de Max Born, Werner Heisenberg, Niels Bohr y otros, conocida como «interpretación de Copenhague» debido al nombre de la ciudad en la que residía Niels Bohr. Para tratar de refutar esta interpretación, Einstein publicó en 1935, junto con Boris Podolsky y Nathan Rose, un célebre artículo[1] titu-

ones de la mecánica cuántica



microscópica y también en química, cosmología, etc., a veces con una enorme precisión. Es sorprendente, por último, porque todos sus éxitos han sido obtenidos sin que fuera necesario ningún cambio esencial en sus principios básicos, que siguen siendo los que elaboraron hace unos cincuenta años los padres fundadores de la mecánica cuántica. En este artículo, Franck Laloë nos explica cómo ha sabido hacer frente la mecánica cuántica a una de las objeciones más graves que le han sido hechas, en cuyo origen está Einstein.

lado «¿Puede considerarse completa la descripción que de la realidad física da la mecánica cuántica?». En aquel tiempo, los éxitos de la mecánica cuántica eran ya tales que era natural considerar exactas sus predicciones. Es lo que hicieron EPR (Einstein, Podolsky y Rosen), quienes idearon un hábil experimento imaginario, calcularon los resultados que debía obtenerse según la mecánica cuántica y razonaron del modo siguiente: si para la noción de realidad física se acepta una definición muy natural que proponen en su artículo, entonces la mecánica cuántica deja escapar algunos «elementos de realidad» que, no obstante, aparecen en resultados de medida macroscópica. Aunque muy potente y útil, esta teoría sería pues *incompleta* y probablemente de carácter provisional...

Sin duda, el argumento EPR es uno de los mayores desafíos a los que ha tenido que enfrentarse la interpretación de Copenhague. Aunque muy famoso, el argumento no parece haber sido siempre muy bien comprendido. Bajo una apariencia de simplicidad, esconde mucha sutileza y una gran habilidad. Pone de manifiesto unos aspectos sorprendentes de la ménica cuántica que hasta entonces habían escapado a la atención de todos y que todavía hoy son desconcertantes. La discusión del argumento EPR señaló el apogeo del debate entre los dos gigantes de la física moderna que fueron Bohr y Einstein. Pero fue John S. Bell quien en los años 1960 dio con la clave que permitía llevar el debate a un plano cuantitativo, susceptible de dar lugar a verificaciones experimentales. Al reformular y prolongar el razonamiento EPR, Bell demostró la importancia que puede tener en él el concepto de *localidad* (según el cual la evolución de las magnitudes físicas en un punto del espacio sólo depende de la expresión de estas magnitudes en dicho punto). Su gran mérito consiste en haber ideado unas pruebas experimentales particularmente sagaces destinadas a poner en dificultades a la mecánica cuántica. Que se tranquilicen ya los lectores sensibles preocupados por esta última: ha sorteado con su brío habitual las trampas que hasta el momento le han tendido los físicos. De momento, al menos, la mecánica cuántica parece más saludable que nunça e incluso dispuesta como siempre a hacer jugarretas a nuestra intuición clásica.

¿Cómo medir las propiedades de una partícula... sin tocarla?

El argumento EPR se inscribe inicialmente en el marco de una discusión muy general sobre la interpretación y la validez de las relaciones de incertidumbre de la mecánica cuántica. Según éstas, no es posible conocer simultáneamente dos variables llamadas conjuga-

(1) A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen. *Phys. Rev. 47*, 777, 1935.

Un detective, unas tarjetas magnéticas y unos distribuidores de funcionamiento misterioso.

Franck Laloë es director de investigación del Centre national de la recherche scientifique; trabaja en el laboratorio de física de la École normale supérieure sobre las propiedades cuánticas de gases como el helio 3 a baja temperatura. Sus intereses actuales abarcan también la acústica musical. **Franck Laloë** siguió de cerca los experimentos de **Alain Aspect**. Estos experimentos se describen en este artículo, que refleja las numerosas discusiones entre ambos físicos.

das, como la posición y la velocidad de una partícula, con una precisión tan grande como se desee. Muchos experimentos imaginarios han sido diseñados para tratar de poner en dificultades a este principio, aunque sin éxito, ya que los defensores de la mecánica cuántica han encontrado siempre un contraargumento válido. Históricamente, esta respuesta solía invocar «las perturbaciones inevitables debidas a los aparatos de medida». Es aquí donde cumple su papel la idea genial de EPR: el recurrir a un sistema de dos partículas perfectamente correlacionadas. En tal caso, en efecto, cabe medir las propiedades de una partícula sin tocarla, por medio de mediciones efectuadas en la otra. Imaginemos, por ejemplo, dos partículas cuyos impulsos desconocemos pero cuyo impulso total es exactamente nulo. Ello implica una correlación perfecta entre los dos impulsos individuales, que siempre son iguales y de direcciones opuestas; basta pues con medir el impulso de una partícula, para conocer inmediatamente el de la otra. Si, además, las partículas están suficientemente alejadas la una de la otra, la segunda partícula no resulta en modo alguno perturbada por la medida y parece legítimo decir que su estado físico es el mismo antes y después de la medida. Si después de la medida, por consiguiente, una de sus magnitudes físicas (por ejemplo el impulso) está fijada, es que lo estaba antes; tiene pues que preexistir una propiedad física de la partícula, o un «elemento de realidad» en la terminología de EPR, que determina el valor de dicha magnitud física.

Tras considerar luego diversos tipos de medidas (posición e impulso), EPR llegan a un conjunto de elementos de realidad de las partículas que sobrepasa las posibilidades de formalismo de la mecánica cuántica. Estamos obligados a concluir que la mecánica cuántica da una descripción insuficiente, «incompleta», de la realidad (véase cuadro

Este breve resumen sólo permite echar una ojeada al razonamiento EPR. En este artículo, sin embargo, vamos a detallar mucho más el asunto. En vez de exponer directamente el razonamiento en su contexto cuántico, empezaré presentándolo mediante una parábola que, de un modo gráfico –y espero que divertido– presenta a un detective habiéndoselas con tarjetas magnéticas y un distribuidor automático de bebidas de funcionamiento misterioso. Las aventuras del detective están construidas de tal modo que sean una trasposición exacta, en el mundo macroscópico, del experimento imaginario EPR con partículas cuánticas. A la vez que preserva la esencia del razonamiento EPR, esta parábola presenta la ventaja de recurrir a nociones y situaciones de la vida corriente. Permite también presentar la contribución de Bell al problema.

El héroe cuyas aventuras vamos a narrar ahora será un detective que –como todos los buenos detectives– sabe mostrar mucho ingenio y perspicacia cuando se le pide que resuelva un enigma. En nuestra historia dará muestras de un sólido espíritu deductivo e incluso de conocimientos de aritmética. Las cualidades que le atribuiremos nunca serán excesivas, ya que es él nuestro protagonista: hará las veces de Einstein, Podolsky y Rosen primero y después las de Bell. La investigación que debe llevar a cabo le ha sido encargada por una empresa de distribuidores automáticos de bebidas preocupada por el éxito de una firma competidora que ha montado una red semejante cuyo funcionamiento exacto se ignora. En vez de utilizar directamente dinero, el sistema en cuestión pone en juego tarjetas magnéticas que se venden al público y permiten hacer funcionar los distribuidores un gran número de veces (por ejemplo, cien). Lo inesperado es que este funcionamiento es aparentemente aleatorio: el distribuidor entrega ora un café ora un té sin que el utilizador pueda decidirlo (el saber si el público gustaría realmente de este tipo de imprevisto es algo que rebasa el marco de este artículo...)

Por supuesto, nuestro investigador no puede desmontar las máquinas para ver cómo están fabricadas o cómo funcionan. Todo lo que puede hacer son «experimentos» con el material de que dispone: si elige bien las condiciones y anota los resultados, podrá obtener por deducción las respuestas a las preguntas planteadas. El modo estándar de accionar los aparatos (fig. 1) es el siguiente: se empieza por elegir una de las dos posiciones –a voluntad– de un cursor. Una de ellas (representada por x) significa que la bebida solicitada es azucarada, la otra (representada por y) que se pide una bebida no azucarada. Se introduce luego en el distribuidor una tarjeta magnética y entonces la máquina sirve un café o té. La naturaleza de la bebida servida por la máquina, café o té, es aparentemente aleatoria. En cambio, la bebida servida es azucarada o no azucarada, de acuerdo con los deseos del cliente. Para cada posición del cursor los dos resultados posibles se representarán por C o T (por café o té); el carácter azucarado o no de la bebida no desempeñará en lo que sigue ningún papel. Llamaremos «medida» al conjunto de estas operaciones.

La cuestión planteada al detective consiste en comprender el origen del funcionamiento aleatorio de los distribuidores. ¿Puede haber un determinismo escondido detrás de esta apariencia aleatoria, un mecanismo complicado y difícilmente previsible, o incluso un microordenador programado de una manera sutil que rija su comportamiento? ¿O hay que pensar que la máquina contiene una ruleta o un generador electrónico aleatorio? Además, el detective trata de saber cuál es la naturaleza de las inscripciones que figuran en las tarjetas magnéticas, o bien si estas inscripciones existen realmente, ya que la pista magnética bien visible podría no ser más que una trampa destinada a engañar a la competencia.

De un modo perfectamente lógico, nuestro investigador empieza sus medidas con una tarjeta y un aparato. Y muy pronto llega a una primera conclusión: el funcionamiento del sistema no es completamente aleatorio. En efecto, tras haber elegido una posición del cursor (por ejemplo, azucarado) y haber obtenido una primera bebida (por ejemplo, té azucarado), obtiene siempre el mismo resultado (TTT... o CCC...) siempre que no cambie la posición del cursor. Sólo en el primer intento, o cuando acaba de desplazarse el cursor, el resultado es imprevisible (café o té). El detective deduce, pues, que existe una característica física de la tarjeta o del distribuidor que se mantiene estable si no se mueve la posición del cursor, y que fija el resultado de un modo determinista.

En una segunda serie de experimentos, el detective utiliza varias tarjetas y varios aparatos. Entre todas las combinaciones posibles, un caso muy simple parece particularmente instructivo:

1 ¿ES COMPLETA LA TEORÍA CUÁNTICA?

Estas pocas citas del artículo original de EPR ilustran a grandes rasgos el razonamiento de los tres autores:

«cualquiera que sea el sentido atribuido al término completo, parece necesario imponer la condición siguiente a una teoría completa: todo elemento de realidad física tiene que estar en correspondencia con algún elemento de la teoría...»

«Si, sin perturbar en modo alguno el sistema, podemos predecir con certeza el valor de una magnitud física, entonces existe un elemento de realidad física que corresponde a dicha magnitud física.»

A partir de estas dos premisas, y considerando las predicciones de la mecánica cuántica relativas a un sistema de dos partículas perfectamente correalacionadas, EPR deducen lo siguiente:

«...nos vemos pues obligados a concluir que la descripción de la realidad física por las funciones de onda (vector de estado) no es completa.»

En la base del razonamiento EPR se encuentran pues las hipótesis siguientes:

1. La validez de la noción de elementos de la realidad física, definida en la cita anterior;

2. la localidad: ni el número ni la naturaleza de los elementos de realidad localizados en una determinada región del espacio pueden cambiar por efecto de acontecimientos (determinados o aleatorios) que se producen en otra región muy alejada;

3. la exactitud de las predicciones de la mecánica cuántica.

Gracias al teorema de Bell, sabemos actualmente que este conjunto de hipótesis es autocontradictorio. Ello llevó a realizar experimentos dirigidos a verificar la validez de la hipótesis 3 en situaciones críticas.



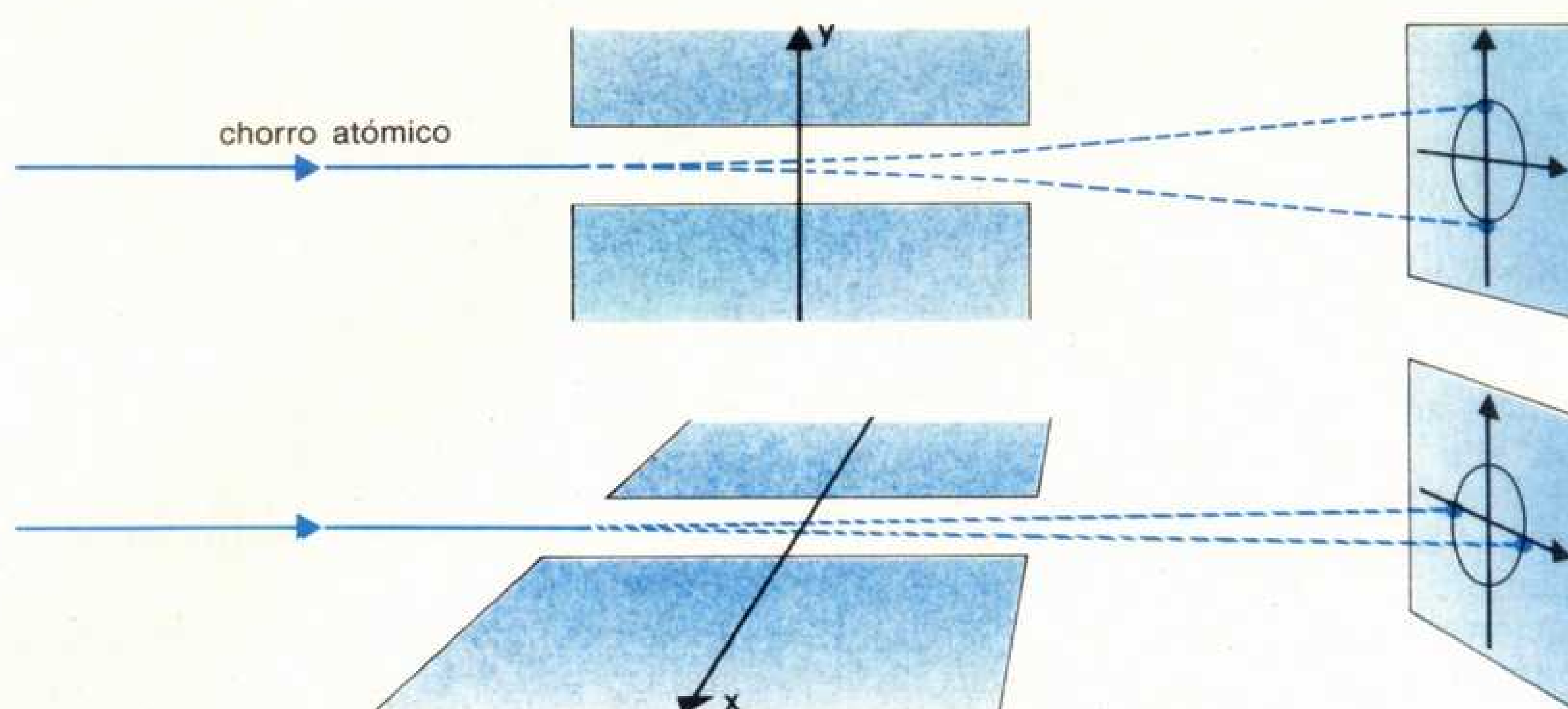
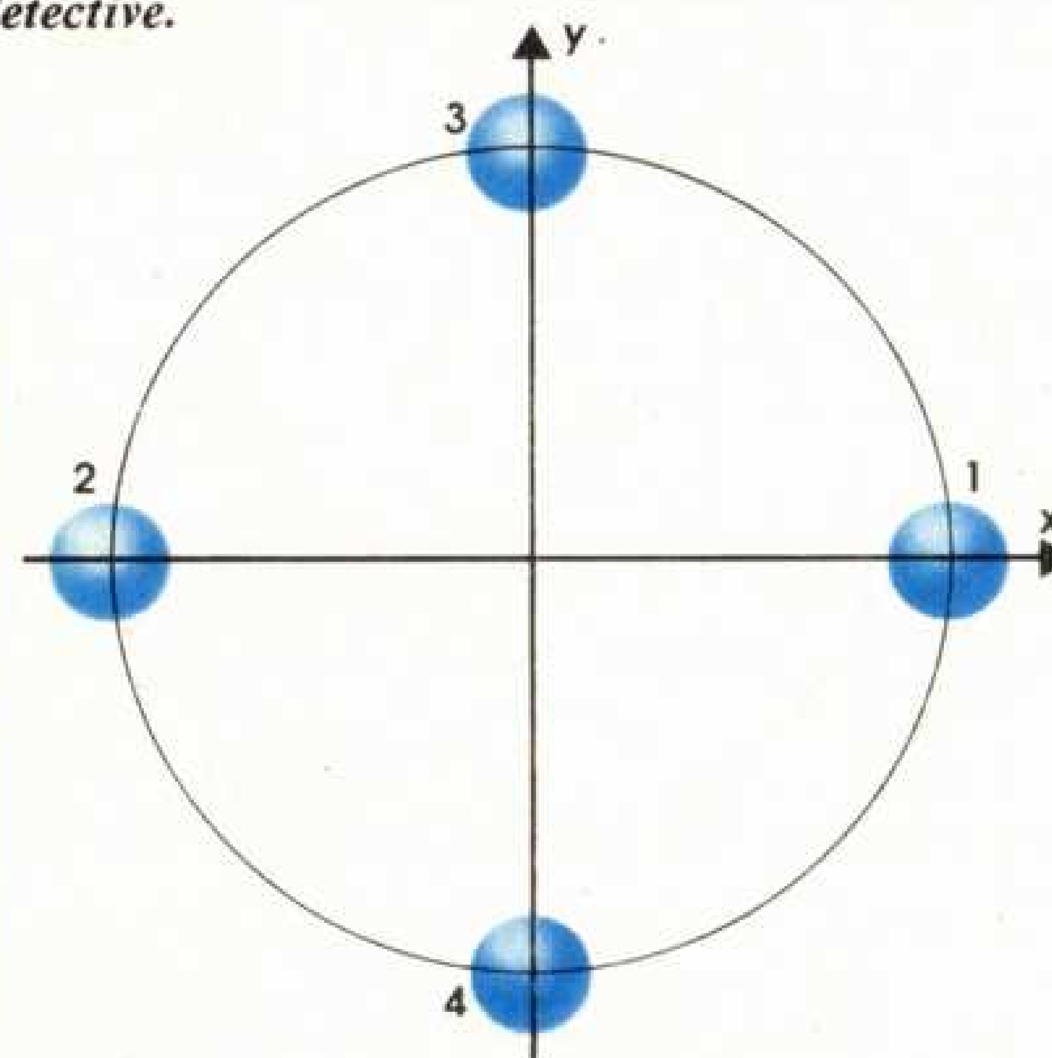


Figura 1. Mediante la discusión detallada de un «experimento imaginario» ideado por Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen (EPR) John Bell logró poner de manifiesto por primera vez un aspecto sorprendente de la mecánica cuántica: la existencia de unas correlaciones que carecen de equivalente en el resto de la física. Bajo una apariencia de simplicidad, el razonamiento de EPR es sutil y muy hábil. Por ello es interesante (y también divertido) presentarlo de manera gráfica a través de las aventuras de un detective encargado de desentrañar el funcionamiento de unos misteriosos distribuidores de bebidas. Éstos van provistos de un cursor que hay que empezar por poner en una de sus dos posibles posiciones, x: azucarado e y, no azucarado. Se introduce luego una tarjeta magnética en el aparato y éste, de un modo aparentemente aleatorio, suministra un té o un café.
El distribuidor simboliza un aparato de Stern y Gerlach. Se trata básicamente de un imán capaz de crear unos campos magnéticos que varían bastante rápidamente en el espacio para poder desviar los átomos de un chorro (procedente de la izquierda en la figura) por acción sobre el momento magnético de éstos. Como que el momento magnético y el momento cinético son proporcionales, lo que se mide así es la componente del espín a lo largo del eje paralelo al campo magnético del imán. Se ha representado el caso en que se utilizan dos orientaciones que permiten medir la componente del espín según Ox o según Oy. A la salida del aparato, sólo cabe observar ciertas desviaciones de los átomos (cuantificación) que aparecen de un modo aleatorio. Para las partículas de espín 1/2 sólo hay dos desviaciones posibles: se obtienen al azar los dos resultados $+\hbar/2$ *y* $-\hbar/2$ *para la componente medida del momento cinético (*$\hbar$ *es la constante de Planck dividida por* 2π*). Si el imán está orientado a lo largo de Ox, los impactos de los átomos en un plano perpendicular al chorro llegan aleatoriamente a los puntos 1 y 2: si está orientado según Oy, a los puntos 3 y 4. El cuadro da la correspondencia entre estos resultados cuánticos y las observaciones del detective.*

punto	componente del espín medida	resultado	observación del detective
1	según O_x	$+\hbar/2$	café azucarado
2		$-\hbar/2$	té azucarado
3	según O_y	$+\hbar/2$	café no azucarado
4		$-\hbar/2$	té no azucarado



aquél en el que efectúan dos medidas sucesivas, bien con la misma tarjeta, bien con dos tarjetas distintas, en dos distribuidores cuyos cursores están en la misma posición. Cuando se trata de la misma tarjeta, los resultados son siempre los mismos; para dos tarjetas distintas, en cambio, los resultados pueden ser distintos. El investigador concluye que, incluso si no hay inicialmente ninguna inscripción en las tarjetas, una primera medida permite al aparato inscribir una mientras la posición del cursor se mantenga inalterada en el mismo aparato o en aparatos distintos; esta inscripción subsiste y es ella la que determina perfectamente los resultados ulteriores.

Los experimentos de correlación

Pero ¿cómo saber lo ocurrido durante la primera medida? ¿Figuraban ya en la tarjeta las informaciones necesarias para determinar su resultado, o apareció esta información por efecto de la medida, eventualmente como resultado de una selección azarosa? Durante algún tiempo, el detective fracasa ante el problema. Pero un buen día descubre algo que le permite progresar: gracias a un dispositivo especial, consigue partir en dos cada tarjeta, de tal modo que los distribuidores sigan aceptando los fragmentos. Podrá entonces llevar a cabo experimentos de correlación con las dos tarjetas de un mismo par, surgidas de una misma tarjeta inicial. Para evitar errores de interpretación, parece más prudente realizar las medidas con aparatos distintos. El investigador se hace pues con los servicios de un colaborador, al que manda a un distribuidor alejado (en la estación de Francia, por ejemplo) para que pruebe una de las tarjetas de un mismo par mientras él hace pruebas con la otra en su propio distribuidor (en el Tibidabo, por ejemplo). Cada uno de los operadores lleva pues una tarjeta hacia su distribuidor, elige a voluntad la posición del cursor, introduce la tarjeta, anota el resultado obtenido (C o T) y regresa a una cita convenida para comparar los resultados.

Dos casos pueden producirse entonces: bien las dos elecciones del cursor son distintas (un cincuenta por ciento de probabilidades) bien son las mismas. En el primer caso, no se aprecia nada especial, los dos resultados obtenidos son aleatorios y completamente independientes. En sí mismos estos resultados no nos sirven de nada y los discutiremos aquí. Los que interesan, en efecto, son aquellos casos en los que las posiciones de los cursores son idénticas, ya que se observa que los resultados son siempre opuestos, presentan una correlación perfecta: si uno es T, el otro es C e inversamente (de un modo más preciso, se trata de una anticorrelación perfecta, como la que encontramos más tarde en las partículas cuánticas, pero la correlación y la anticorrelación cumplen el mismo papel en el razonamiento). Por supuesto, tal correlación no sería posible si las dos medidas, efectuadas en puntos alejados, fueran resultado de procesos aleatorios independientes. Se impone pues la conclusión de que, al separarse, las tarjetas llevan consigo unos elementos de información que determinan por completo los resultados posibles de una medida con independencia de la posición del cursor y que estos elementos son idénticos para dos tarjetas de un mismo par. En otras palabras, nuestro investigador ha demostrado así que el funcionamiento de los aparatos *nada tiene de aleatorio,* sino que está enteramente predeterminado por las propiedades físicas de las tarjetas utilizadas. El único componente aleatorio procede de estas mismas propiedades físicas, que fluctúan de un par a otro, pero están estrechamente relacionadas para dos elementos de un mismo par (de tal modo que los resultados obtenidos siempre sean opuestos.)

El argumento EPR

El argumento de Einstein, Podolsky y Rosen es muy similar al de nuestro detective, aunque está traspuesto a una situación mucho más significativa e interesante desde el punto de vista de la mecánica cuántica. Como hemos visto antes, históricamente fue desarrollado a partir de las variables de posición e impulso de dos partículas correlacionadas. David Bohm lo reformuló para variables de espín; su versión modificada[2] sirvió a John Bell de punto de partida para establecer sus famosas desigualdades. Examinaremos pues el razonamiento EPR en la versión de Bohm. Para ello precisaremos ante todo lo que se entiende por «espín» de una partícula.

(2) D. Bohm, *Quantum theory,* Prentice Hall, 1951.

Para cualquier partícula, la mecánica cuántica prevé la posibilidad de que posea un momento cinético de rotación interna, o espín, incluso en el caso de que tal partícula sea estrictamente puntual. Dicho sea de paso, he aquí otro ejemplo de resultado cuántico poco intuitivo; ¿cómo imaginar, en efecto, la rotación sobre sí mismo de un objeto puntual que, por tanto, carece de estructura interna? Igual que el momento cinético clásico, el espín está representado por un sector del que cabe medir la componente respecto de un eje cualquiera. El electrón, el muon y el protón son partículas llamadas de «espín 1/2». Ello significa que si se mide la componente de su espín sobre un eje cualquiera, sólo cabe encontrar dos valores posibles: $\hbar/2$ y $-\hbar/2$ ($\hbar$ es la constante de Planck dividida por 2π). Es notable que en vez de un conjunto continuo de valores, como ocurre con un momento cinético clásico, se pueden obtener sólo valores bien precisos; cualquiera que sea la componente medida, nunca se hallan resultados intermedios entre $+\hbar/2$ y $-\hbar/2$. Es precisamente porque la nueva teoría conducía a menudo a resultados «cuantificados» como éste por lo que se le llamó mecánica cuántica. Históricamente, la cuantificación de los resultados de medida de la componente de un momento cinético fue descubierta experimentalmente por Otto Stern y Walter Gerlach en 1921, es decir, antes de que se estableciera la teoría. Su resultado desempeñó un importante papel en la elaboración de los postulados sobre la medida durante el nacimiento de la mecánica cuántica.

En la figura 1 B se esquematiza un experimento de Stern-Gerlach, en el que unas partículas de espín 1/2 sin carga eléctrica (pero poseedoras de momento magnético), por ejemplo átomos, penetran en el entrehierro de un imán. El campo magnético creado por el imán puede desviar estos átomos en la dirección del campo o en la dirección opuesta. Si, una vez atravesado el imán, se recogen los átomos sobre un plano perpendicular a su velocidad, se observa que sólo son posibles dos desviaciones: una hacia arriba, que corresponde al valor $+\hbar/2$, y la otra hacia abajo, que corresponde a $-\hbar/2$. Efectivamente, hay cuantificación: ningún átomo sufre una desviación intermedia, por ejemplo nula. El experimentador puede girar a voluntad el imán sobre sí mismo alrededor del eje de propagación de los átomos y cambiar así la dirección en que se mide el espín. En tal caso, las desviaciones de los átomos se efectúan en direcciones distintas, pero para cada orientación dada del aparato sólo son posibles dos desviaciones distintas. Para simplificar, supondremos que el imán sólo puede orientarse en dos direcciones: una paralela al eje Ox y la otra paralela al eje perpendicular Oy. Los cuatro puntos de impacto posibles de los átomos se representan en la parte infeiior de la figura 1. El cuadro que la acompaña da los resultados de medida cuántica asociados a cada uno de ellos, así como la correspondencia con las observaciones del detective, en el supuesto de que las dos posiciones del cursor corresponden a la orientación del imán (x: azucarado; y: no azucarado).

Nadie ha conseguido ver directamente a simple vista un electrón o un átomo y observar si gira o no sobre sí mismo y menos todavía observar en detalle el movimiento complejo del número fantástico de átomos de un imán de Stern y Gerlach. Tampoco el detective sabía nada sobre la naturaleza de las

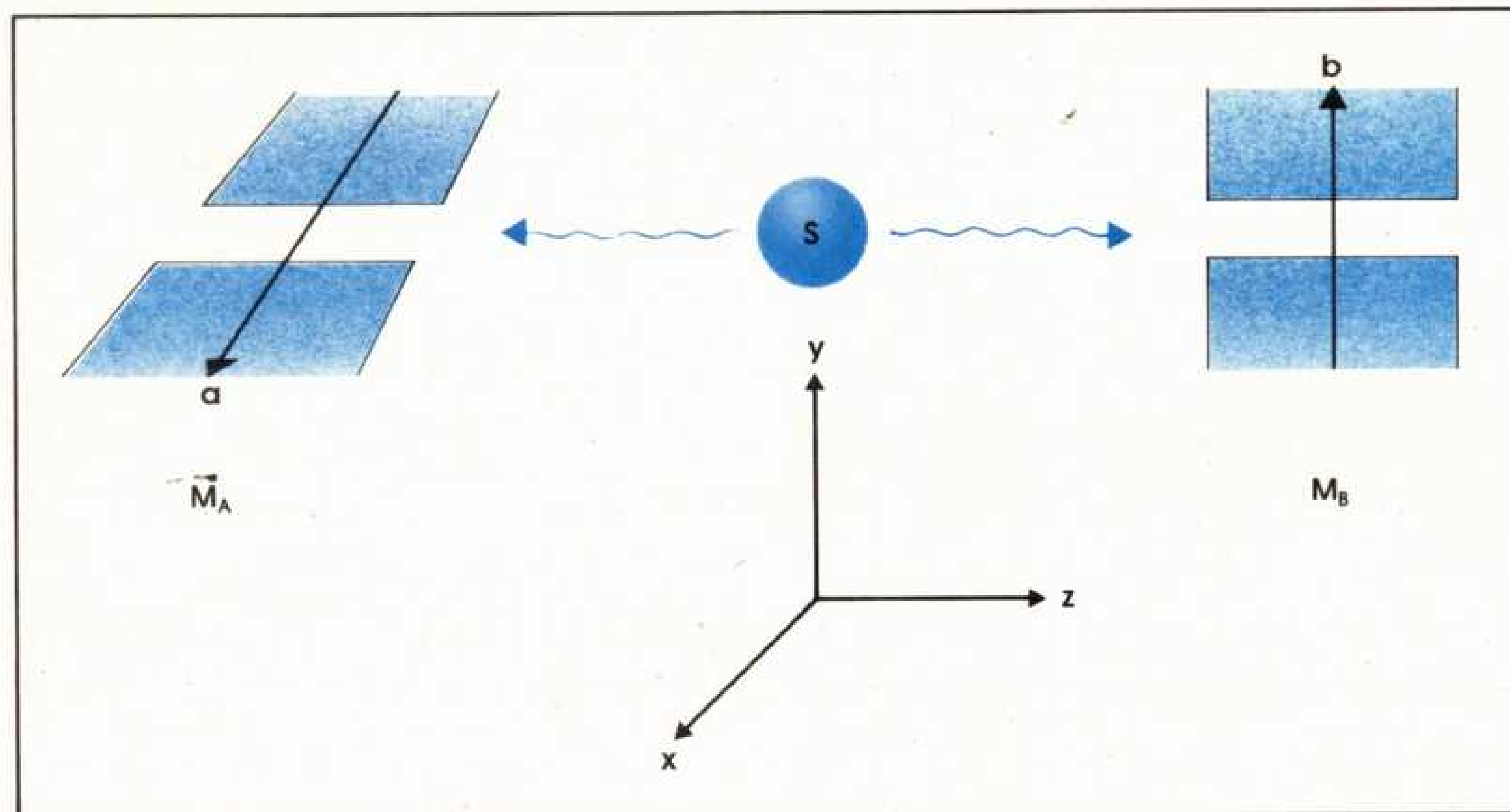


Figura 2. En el experimento imaginario EPR en la forma propuesta por Bohm, una fuente S emite pares de partículas con espines correlacionados en un estado de momento cinético total nulo. Las dos partículas se propagan en direcciones opuestas hacia unos aparatos de Stern y Gerlach M_A y M_B, que pueden estar extraordinariamente alejados. El aparato M_A mide la componente del espín en una dirección a (se ha representado el caso en que dicha dirección es Ox); el M_B la mide en una dirección b (aquí Oy). Para cada par de orientaciones a y b elegidas son posibles a priori cuatro resultados: cada aparato puede indicar $+\hbar/2$ o $-\hbar/2$. Según la mecánica cuántica, nunca se halla el mismo resultado en M_A y M_B si a y b son paralelas. Esta situación de anticorrelación perfecta es en todo punto semejante a la que encontró el detective. Además, cuando se calculan los promedios de los resultados obtenidos para distintas orientaciones a y b de los aparatos, la mecánica cuánica predice una violencia de las desigualdades establecidas por John Bell en los años 60.

propiedades físicas de las tarjetas magnéticas ni sobre el mecanismo interno de los distribuidores. De ahí que funda su razonamiento lógico exclusivamente en los resultados *macroscópicos* de sus experimentos. ¿Cómo consiguió interpretar finalmente sus primeras series de medidas, aquellas en las que sólo operaba con una tarjeta a la vez? Su conclusión es que toda medida con la misma posición del cursor está determinada por ciertas propiedades físicas de la tarjeta: una inscripción en la tarjeta magnética. He aquí un lenguaje próximo al de la mecánica cuántica: esta última, en efecto, describe todo sistema físico, como la partícula medida, mediante un «vector de estado» que permite calcular las posibilidades de los resultados de toda medida y hace un poco las veces de las inscripciones en las pistas magnéticas. Después de que una medida, por ejemplo, haya dado el resultado $+\hbar/2$ (o $-\hbar/2$), el vector de estado adopta un cierto valor representado por ψ^+ (o ψ^-, respectivamente) y el resultado de toda medida repetida de dicha componente está fijado (es el mismo). A través de la serie de medidas idénticas, una cierta propiedad de la partícula subsiste de un modo permanente y queda descrita por un valor inalterado del vector de estado. Todo ocurre pues de un modo perfectamente determinista, salvo quizá por lo que respecta a la primera medida de la serie. Hasta aquí no hay conflicto con la interpretación de Copenhague.

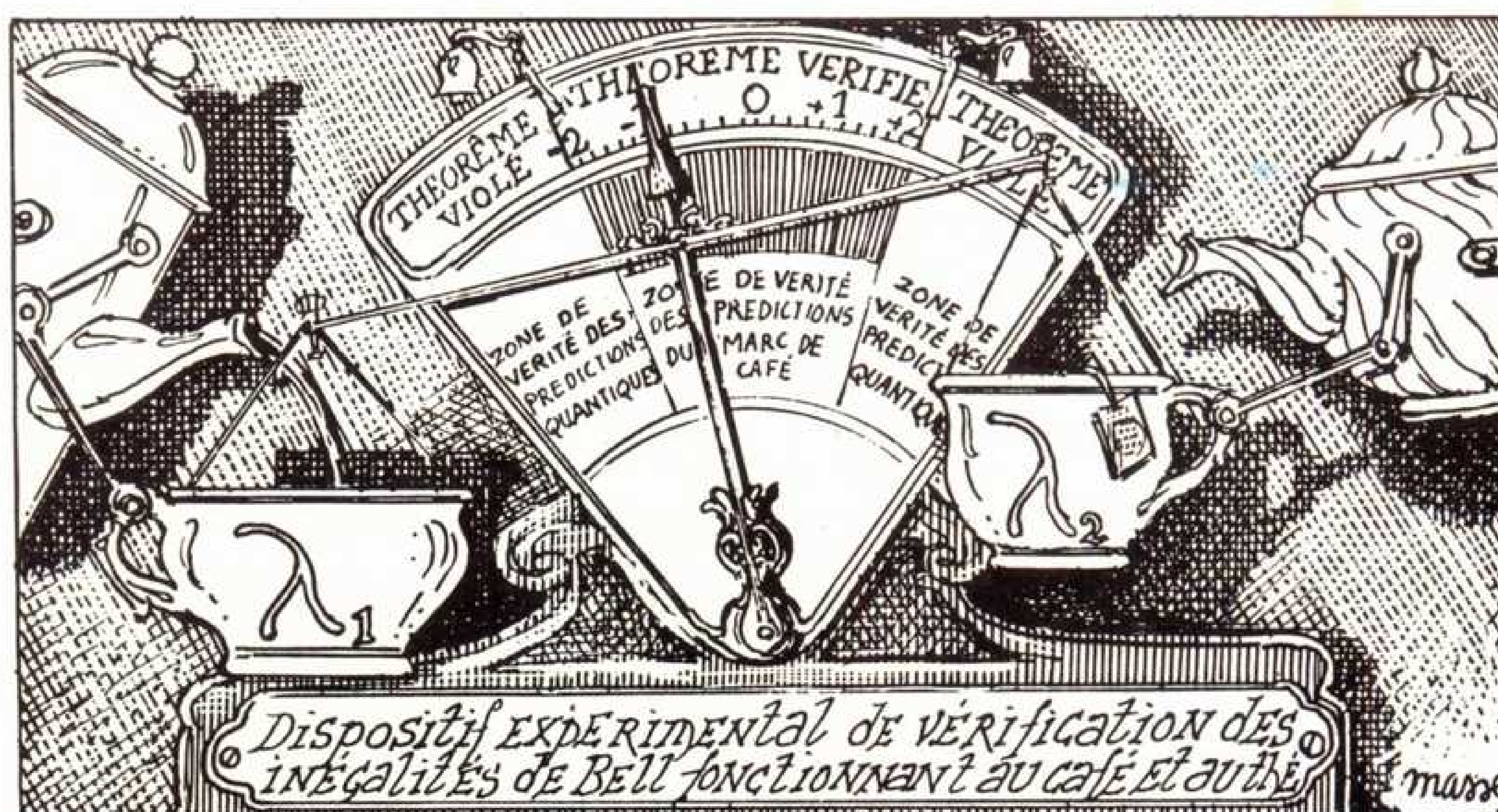
En cuanto se cambia la posición del cursor, (o la orientación del aparato de Stern y Gerlach), sin embargo, la interpretación de Copenhague es tajante: existe entonces un indeterminismo fundamental y *nada* permite conocer de antemano el resultado. Cuando se modifica, por ejemplo, en 90° la dirección según la cual se mide la componente de un espín 1/2, por rotación sobre sí mismo del imán de Stern y Gerlach, el resultado de la medida se vuelve completamente aleatorio para la primera medida subsiguiente: los dos valores $+\hbar/2$ o $-\hbar/2$ pueden aparecer con la misma probabilidad. No hay ninguna propiedad física de la partícula –o propiedad matemática del vector de estado– que determine de antemano el resultado obtenido. En otras palabras, no hay equivalente alguno de las inscripciones en la tarjeta magnética cuya existencia ha demostrado el detective. Aquí vemos apuntar una posibilidad de conflicto con sus conclusiones, pero este conflicto aparece con mayor claridad en los experimentos de correlación que vamos a dar ahora en versión cuántica.

De acuerdo con Bohm, consideremos el dispositivo experimental esquematizado en la figura 2: una fuente emite sucesivamente pares de partículas de espín 1/2 que se propagan en direcciones opuestas hacia dos aparatos de Stern y Gerlach M_A y M_B. Estos permiten medir la componente del espín de la primera según un eje a para la de la izquierda y según otro eje b para la de la derecha. Cualesquiera que sean las direcciones x e y elegidas para a y b, sólo cuatro resultados son posibles para un par dado: cada aparato puede indicar $+\hbar/2$ o $-\hbar/2$ y el número de combinaciones posibles es de cuatro. Cuando los pares de partículas son producidos en un estado cuyo momento cinético interno total (suma de los momentos individuales) es nulo, la mecánica cuántica indica que las probabilidades de los cuatro resultados dependen únicamente del ángulo entre las direcciones a y b (invariancia por rotación global). El único caso que nos importa aquí es aquél en que dicho ángulo es nulo, es decir, cuando a y b son paralelos. Las reglas de la técnica cuántica indican entonces que dos de las probabilidades son nulas, las asociadas a los pares de resultados $(+\hbar/2, +\hbar/2)$ o $(-\hbar/2, -\hbar/2)$. Las otras dos probabilidades, asociadas a los pares $(+\hbar/2, -\hbar/2)$ y $(-\hbar/2, +\hbar/2)$ son iguales entre sí y valen 1/2. En otras palabras, si a y b son paralelos, no se encuentra jamás el mismo resultado en M_A y M_B, sino siempre resultados opuestos, siendo equiprobables las dos combinaciones posibles. Se trata, pues, de una situación de anticorrelación perfecta, en todo punto análoga a la que encontró el detective.

El punto esencial para la discusión estriba en que la mecánica cuántica describe el estado inicial de los dos momentos cinéticos de las partículas mediante un vector de estado único, en el cual nada permite prever, por ejemplo, el resultado de medida en M_A: los dos resultados $+\hbar/2$ y $-\hbar/2$ están potencialmente presentes (como se comprueba muy fácilmente en la expresión matemática del vector de estado). Por ser esencialmente indeterminista, la teoría considera fundamental la imposibilidad de prever el resultado antes de efectuarse la medida. Por supuesto, si se repite la medida del espín de la partícula de la izquierda con unos aparatos de Stern y Gerlach situados unos detrás de otros y orientados en la misma dirección, se tiene la seguridad de obtener el mismo resultado que con el primero de ellos: la razón de ello estriba en la determinación del vector de estado de la partícula durante la primera medida. Lo que aquí nos interesa, sin embargo, es el estado del sistema formado por las dos partículas antes de la primera medida; a este nivel, el indeterminismo introducido por la interpretación de Copenhague es total.

En este estadio aparece ya una contradicción muy clara con el razonamiento que hemos expuesto antes. El punto de vista de Copenhague conduce a pensar que sólo en el momento en que el espín de una de las partículas se mide según la dirección a toma una valor fijo (opuesto al anterior) el espín de la otra partícula, medido en la misma dirección. ¿Pero cómo es posible, inquieren EPR, que la partícula de la izquierda adquiera una componente del espín bien definida cuando nada actúa sobre ella? En efecto, la medida sobre la otra partícula puede tener lugar en una región del espacio arbitrariamente alejada (digamos que en otra galaxia). Las propiedades de esta partícula, o sus «elementos de realidad», en la terminología de EPR, son necesariamente los mismos antes y después de la medida con la otra partícula. Antes de toda medida contienen pues más información de la que admite la mecánica cuántica y esta información fija el resultado de la medida. La descripción dada por el vector de estado no es completa.

En realidad, el razonamiento completo de EPR va más lejos al considerar varias direcciones posibles para los vectores a y b (orientación de los aparatos de Stern y Gerlach). Después de que las partículas hayan sido emitidas y durante su propagación hacia los aparatos de medida, que pueden estar muy alejados, el investigador que va a medir la partí-



¿Se basa el razonamiento EPR en hipótesis injustificadas?

cula de la izquierda tiene siempre la opción de elegir para el aparato de medida una dirección de análisis a cualquiera, por ejemplo, una de las dos direcciones perpendiculares Ox y Oy. Si, por casualidad, el experimentador que mide la partícula de la derecha realiza la misma elección (una probabilidad del cincuenta por ciento), la mecánica cuántica predice siempre una anticorrelación total de los resultados. Mientras viaja hacia la derecha, no obstante, la partícula en nada puede estar influida por la orientación del aparato de la izquierda arbitrariamente alejado. Así pues, esta partícula lleva consigo ciertos elementos de información que le permiten «dar la respuesta correcta» (la opuesta de la de la otra partícula) y ello cualquiera que sea la dirección de análisis b elegida. Es lo mismo que había afirmado el detective al concluir que las inscripciones magnéticas contenían simultáneamente las informaciones que permitían determinar los resultados de las medidas para las dos posiciones del cursor. Por tanto, siguen EPR, hay estados de una partícula en los que dos componentes del espín están predeterminados. Pero se da el caso de que semejantes estados, en los que están simultáneamente determinadas las componentes x e y del espín, *no existen* en el formalismo de la mecánica cuántica. Cabe escribir vectores de estado en los que una componente está bien definida, pero el definir dos o más componentes rebasa las posibilidades del formalismo. Por consiguiente nos dicen EPR, este último deja escapar ciertas propiedades importantes de las partículas, unos «elementos de realidad» que sin embargo se manifiestan diariamente en los resultados de medidas macroscópicas: por útil y potente que sea, la mecánica cuántica es una teoría «incompleta» y de carácter provisional.

¿Contiene el razonamiento de EPR algún error lógico escondido? Aparentemente no, y los numerosos físicos a los que no ha convencido se han decantado más bien por criticar sus premisas o hipótesis explícitas o implícitas. Bohr, por ejemplo, que fue quizá el más famoso de los oponentes al razonamiento, le reprocha su ambigüedad en la utilización de la noción de realidad física.[3] Para él, carece de sentido hablar *por separado* de las propiedades físicas de una u otra de las partículas, ya que el único sistema que posee realmente dichas propiedades es el sistema *global* formado por ambas, y ello a condición de haber precisado la naturaleza de los instrumentos de medidas utilizados y en particular las direcciones de análisis. Si se admite esta «no separabilidad» o «no divisibilidad», está claro que el razonamiento EPR fracasa, ya que se refiere a unas entidades mal definidas o incluso quizás inexistentes. Volveremos en detalle sobre las implicaciones conceptuales de este debate Einstein-Bohr. Por el momento, limitémonos a observar que dicha polémica se ha mantenido durante decenios en un plano más bien general y filosófico. Algunos preferían seguir a Bohr y a la escuela de Copenhague y consideraba a la mecánica cuántica como exhaustiva y de algún modo definitiva, ya que da cuenta de todos los aspectos de la realidad. Otros, más modestos, aceptaban la idea de que podía no dar cuenta de manera última de toda la riqueza de la realidad física; cabía esperar entonces completarla mediante una teoría más detallada, a la manera en que la mecánica estadística completa la termodinámica. Ha habido que esperar a Bell y sus célebres desigualdades[4] para que el debate vuelva a un terreno lo bastante concreto como para que aparezcan experimentos que permitan decidir entre los dos puntos de vista. Para presentar esta contribución capital al debate, volvamos a nuestro ejemplo de las tarjetas magnéticas y el astuto experimento de correlación ideado por nuestro detective.

(3) N. Bohr, *Phys. Rev. 48*, 696, 1935.
(4) J.S. Bell, *Physics, 1*, 195, 1964.
(5) J.F. Clauser *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, *23*, 880, 1969.

Un poco de aritmética

A un detective puede gustarle la aritmética, y vamos a ver cómo ello puede coducirle a la verificación experimental de desigualdades del tipo de las llamadas «de Bell». Ello requiere, sin embargo, la introducción de un mínimo de notaciones, simples pero generales, que nos permitan analizar los experimentos de correlación. Durante su investigación, el detective ha demostrado (o EPR demostraron) que el resultado de toda medida (C o T) estaba fijado por ciertas características de las tarjetas magnéticas (por ejemplo, inscripciones en las pistas) a la vez que dependían, por supuesto, de la posición x o y del cursor. Simbolicemos pues mediante la variable λ estas características de las tarjetas magnéticas. Asimismo simbolicemos por a la orientación del cursor: a puede adoptar los valores x o y según la elección efectuada. Llamemos por último A a la función de y λ que describe los resultados de las medidas. Para que esta función sea lo más simple posible, la definimos de la manera siguiente: A vale + 1 si el resultado es C (o $+\hbar/2$), −1 si el resultado es T (o $-\hbar/2$). Para cada tarjeta magnética, λ está fijada y la función A (a, λ) toma unos valores + 1 o − 1 perfectamente definidos para todas las orientaciones posibles x o y del cursor (y para las posiciones intermedias si existen).

¿Qué se obtiene de estas definiciones en lo que respecta a los experimentos de correlación? Mediante una generalización inmediata, se definen dos funciones A y B en vez de una sola: A (a, λ_1) es la función que describe el resultado de la medida efectuada en la estación de Francia con el aparato M_A y B(b, λ_2) describe el otro resultado de medida efectuado en el Tibidabo con el aparato M_B. Enunciemos de inmediato una hipótesis extremadamente natural, pero esencial para todo lo que sigue, que se ha hecho en la escritura misma de estas funciones: A depende sólo de la orientación a del cursor (o del aparato M_A) elegido para efectuar la medida en la primera tarjeta del par, pero no depende de b. Asimismo, B depende de b pero no de a. Análogamente, A depende de las características λ_1 de la primera tarjeta y B de las λ_2 de la segunda, pero esta restricción no tiene importancia en lo que sigue. Estas hipótesis traducen de hecho la *localidad* de los fenómenos físicos. Se trata de un concepto capital para todo el resto de la discusión: los acontecimientos que suceden en una cierta región aislada del espacio *no son influidos* por otros que ocurren en otra región arbitrariamente alejada.

Pasemos ahora a las desigualdades de Bell propiamente dichas. Estas desigualdades versan sobre los valores medios de las funciones A y B, calculados para distintos pares de tarjetas (o de partículas) correlacionadas. Las dos variables λ_1 y λ_2 fluctúan de un par de tarjetas a la siguiente, y anteriormente habíamos concluido que son las correlaciones de estas fluctuaciones las que aseguran la correlación entre los resultados de medida. Promediando los distintos valores posibles de λ_1 y λ_2, las funciones A (a, λ_1) y B (b, λ_2) por separado dan cero, ya que los dos valores + 1 y − 1 son equiprobables. Por contra, los productos AB no siempre tienen un valor medio nulo, lo cual indica la existencia de correlaciones. Por ejemplo, sabemos que si a = b, se tiene siempre B = − A para todo valor del par λ_1, λ_2 realizado en el experimento: el producto AB vale pues − 1 y su valor medio para los distintos valores de λ_1 y λ_2 sólo puede tomar dicho valor. Mediante el mismo tipo de aritmética bastante simple, se puede definir una combinación R de cuatro productos AB que vale siempre + 2 o − 2 (véase cuadro 2). Entonces, automáticamente, el valor medio $<R>$ calculado para todos los distintos valores posibles de λ_1 y λ_2 está comprendido entre + 2 y − 2. Es el teorema de Bell en una de sus formas (la que elaboraron John F. Clauser, Michael A. Horne, Abner Shimony y Richard A. Holt[5] de (donde su nombre técnico de desigualdad BCHSH).

Nada impide entonces que el detective mida la cantidad $<R>$ por medio de un número lo bastante alto de experimentos, es decir, midiendo sucesivamente los valores medios de los cuatro productos de los que R es la suma. Lo que sabe de antemano es que, cualquiera que sean las correlaciones entre λ_1 y λ_2 y cualquiera que sea el funcionamiento de los aparatos (determinista o no), sólo cabe encontrar un valor comprendido entre + 2 y − 2. Es una ley estadística casi tan inevitable como la que dice que el valor medio del cuadrado de una función es siempre mayor

que el cuadrado de su valor medio.

La demostración del teorema de Bell es lo bastante convincente para que ningún físico, que nosotros sepamos, haya sentido la necesidad de verificarlo experimentalmente con un dispositivo cualquiera de medida de correlaciones entre objetos macroscópicos, tarjetas magnéticas u otros artilugios. Esta convicción generalizada recuerda un poco la que existe para el movimiento perpetuo: los físicos saben que existe un principio general que prohíbe su realización y no se interesan demasiado por experimentar con dispositivos que pretendan realizarlo, por muy complejos o ingeniosos que sean. Invéntense los mecanismo que se quiera, con engranajes, poleas o circuitos electrónicos, el teorema de Bell está ahí para decirnos que $<R>$ estará comprendida siempre entre $+2$ y -2. Asimismo, la vida corriente nos permite observar correlaciones de naturaleza extremadamente diversa (fluctuaciones geográficas de temperatura en lugares diferentes, fluctuaciones estadísticas en economía o sociología) y todas ellas obedecen a la desigualdad de Bell. Y no obstante...

La mecánica cuántica y las desigualdades de Bell están en conflicto...

Dada la generalidad del teorema de Bell, a primera vista parece difícil construir una teoría razonable cualquiera que viole una desigualdad resultado de una aritmética tan elemental. Y, sin embargo, así ocurre con la mecánica cuántica, que en ocasiones llega a prever unas violaciones importanes de más del 40 % en valor relativo.[6] Decididamente; ¡la mecánica cuántica guarda un número sorprendente de conejos en su chistera! El asunto es tanto más interesante cuanto que hubo que esperar a la contribución de Bell para que se advirtiera el carácter sorprendente de ciertas correlaciones predichas por la mecánica cuántica.

De hecho, en un gran número de situaciones experimentales –podríamos decir que en la mayoría– el conflicto no se produce. Era de esperar, ya que toda la física precuántica, la mecánica clásica, el electromagnetismo, etc. entran, por su formalismo local, en el marco del teorema de Bell y sabemos que la mecánica cuántica permite reproducir estas teorías clásicas para el caso de objetos macroscópicos. Una violación de las desigualdades de Bell es pues un fenómeno específicamente cuántico ligado a ciertas situaciones muy particulares que calificaremos de «situaciones sensibles». Son sensibles, puesto que la obtención de resultados experimentales en dichas situaciones permitirá decidir qué, las desigualdades de Bell o la mecánica cuántica, lleva la mejor parte en el conflicto.

Cuando el teorema de Bell fue conocido, se comprende que los físicos mostraran su interés por la idea de experimentar con «situaciones sensibles» (nunca se había hecho antes). ¿No había Bell señalado un caso en el que las predicciones de la mecánica cuántica son realmente demasiado inverosímiles y, por lo tanto, falsas? En los años que siguieron fueron realizados algunos experimentos de esta clase, todos con el objetivo de poner a prueba las desigualdades de Bell en situaciones «sensibles» diversas. Aunque constituye una limitación, sólo hablaremos aquí de los experimentos sobre medidas de polarización de fotones visibles.

❷ EL TEOREMA DE BELL

El razonamiento que permite demostrar el teorema de Bell es una prolongación del de EPR. Para presentarlo, consideremos un experimento en el que dos sistemas físicos correlacionados (por ejemplo partículas) parten de un mismo punto S y se dirigen hacia dos aparatos de medida M_A y M_B, cada uno de los cuales puede dar dos resultados. Puesto que EPR demostraron la existencia de elementos de realidad vinculados a las partículas, llamemos λ_1 y λ_2 a estos elementos de realiad asociados a cada una de las dos partículas. Ello no prejuzga en nada su naturaleza exacta, se afirma tan sólo su existencia. Para cada medida, λ_1 y λ_2 tienen unos valores bien precisos que describen las propiedades del par de partículas. En cambio, si se llevan a cabo muchos experimentos en las mismas condiciones, λ_1 y λ_2 fluctúan de un experimento al siguiente y la descripción adecuada es de tipo estadístico. Llamaremos pues $\rho(\lambda_1, \lambda_2)$ a la función de distribución estadística de λ_1 y λ_2. Cuando las variables están correlacionadas, esta función no puede descomponerse en producto de una función de λ_1 por otra de λ_2.

Supondremos que las medidas se realizan en M_A y M_B en dos direcciones únicas. Identificaremos mediante el vector a la dirección de análisis de M_A y por el vector b la de M_B. Hasta aquí, la única hipótesis fundamental es la existencia de elementos de realidad λ_1 y λ_2. Añadamos otra, igual de fundamental, que consiste en suponer que el resultado de la medida del aparato M_A es una función de A que sólo depende de λ_1 y de a. Asimismo, el resultado de la medida en B estará descrito por una función B (b, λ_2). Excluir de este modo el que A dependa de b y B de a, traduce la *localidad* de los fenómenos físicos en M_A y M_B. Para dos direcciones de análisis A y B, el valor medio del producto AB constituye la medida de la tasa de correlación de A y B (cuyos valores medios calculados por separado son nulos). Se escribe:

$$E(a,b) = \int \lambda_1, d\lambda_2\ \rho(\lambda_1, \lambda_2)\ A(a, \lambda_1)\ B(b, \lambda_2)$$

Formemos entonces la combinación lineal:

$$<R> = E(a,b) - E(a,b') + E(a',b) + E(a',b')$$

donde a y a', b y b' son respectivamente las dos elecciones de medida en M_A y M_B. $<R>$ es el valor medio (sobre λ_1 y λ_2 y con su distribución estadística ρ), de una magnitud que se escribe:

$$R = AB - AB' + A'B + A'B' = A(B - B') + A'(B + B') \text{ con } A = A(a, \lambda_1),\ A' = A(a',\lambda_1) \text{ etc.}$$

Dos casos son entonces posibles, según que $B = B'$ o $B = -B'$, por ejemplo. En el primero, se encuentra que $R = 2A'B$ y en el segundo $R = 2AB$. Como que cada uno de los cuatro números A, A', B, B' vale $+1$ o -1, es fácil verificar que $R = \pm 2$. Y para el valor medio se obtiene la desigualdad: $-2 \leq <R> \leq +2$, que expresa el teorema de Bell en su forma llamada de BCHSH (en honor de Bell, Clauser, Herne, Shimony y Holt).

La demostración no sufre cambios si A depende también de λ_2 y B de λ_1; si se desea, cabe incluso añadir otras variables fluctuantes λ_3, λ_4... para incluir fluctuaciones intrínsecas de los aparatos de medida, perturbaciones sufridas por las partículas a lo largo de su trayectoria, etc. La hipótesis crucial, sin la cual la demostración se vuelve imposible, es la de la dependencia de A y B con respecto a a y b, que son las variables controladas por los experimentadores (por oposición a las λ que fluctúan espontáneamente).

Cabe incluso liberarse del marco determinista en el que hemos razonado (A era una función perfectamente definida de a y de λ_1) y redefinir A a partir de probabilidades (como la diferencia entre las probabilidades de dos resultados). Mientras se conserve la localidad subsistirá la validez del teorema de Bell. Así pues, la violación de las desigualdades pone más en cuestión la localidad que el determinismo.

...y es la mecánica cuántica la que lleva razón

Los primeros experimentos suscitados por el terorema de Bell datan de comienzos de la década de los 70. Fueron estimulados por el artículo de Clauser, Horne, Holt y Shimony de 1969,[5] donde estos autores proponen por vez primera un esquema experimental realizable en la práctica con el fin de comprobar las desigualdades. Los autores de estos primeros experimentos son John F. Clauser y Stuart J. Freedman (Berkeley) y Richard A. Holt y F.M. Pipkin (Hardvard). Sus resultados ni estuvieron demasiado de acuerdo entre sí ni eran muy concluyentes, de modo que la situación siguió siendo confusa. Hay que decir que los experimentos en cuestión son muy difíciles y exigen un considerable cuidado: la menor fluctuación de la fuente o imperfección de los aparatos de medida (por ejemplo, en los analizadores utilizados para medir las polarizaciones de cada fotón) es susceptible de modificar las correlaciones observadas transformando un conjunto de resultados que rebasaría el límite de Bell en resultados ordinarios que se encuentran dentro de dichos límites (o, dicho en otras palabras, transformando resultados cuánticos en resultados clásicos). Pero a esta primera generación seguirían otras hacia mediados de la década de los 70: nuevos experimentos de Clauser en Berkeley y unos experimentos particularmente cuidadosos de Edward S. Fry y Randall C. Thompson en College Station, en Texas. Cabe también mencionar a Mohammad Lamehi-Racht y Wolfgang Mitting del Commis-

(6) El valor de $<R>$ depende por supuesto de las cuatro direcciones de análisis a, b, a', b', que no son necesariamente dos direcciones perpendiculares Ox y Oy. Depende también del valor del espín de las partículas correlacionadas. La cifra del 40 % ($<R>$ del orden de 2,8) corresponde a fotones correlacionados como en los experimentos de Orsay; se obtiene cuando las cuatro direcciones coplanarias forman entre sí ángulos próximos a 22,5.º

La vinculación de los físicos a la localidad procede en gran parte de la relativadad de Einstein.

sariat à l'énergie atomique (CEA), quienes, en vez de fotones, estudiaron protones, de los que midieron la dirección del espín. Los experimentos más convincentes, sin embargo, son los que cabe llamar de la «tercera generación». Fueron llevados a cabo por Alain Aspect, Jean Dalibard, Philippe Grangier y Gérard Roger en el Instituto de óptica de Orsay.(7) Los resultados de dichas medidas, de una precisión no superada hasta el presente, fueron publicadas en 1981.

De hecho, el equipo de Orsay llevó a cabo con éxito varios experimentos. Nos contentaremos con describir uno que nos parece particularmente significativo. Está esquematizado en la figura 3, en la que se reconoce inmediatamente la analogía con la disposición general de la figura 2: una fuente s que emite partículas correlacionadas, en cada una de las cuales se mide la componente del espín: en M_A para la primera y en un punto alejado M_B para la segunda. En dicho experimento, en vez de partículas correlacionadas de espín 1/2 se estudian fotones, partículas de espín 1 y de masa nula; la razón del cambio es puramente experimental (calidad de las fuentes de fotones correlacionadas, de las medidas de polarización) y no queda modificado ningún aspecto esencial de lo que antecede. Un chorro de átomos de calcio cruza en ángulo recto dos haces láser colineales y excita los átomos hacia un nivel elevado que, como el nivel fundamental, posee un momento cinético nulo. Cuando estos átomos vuelven del nivel excitado al fundamental, lo hacen en «cascada»: empiezan por caer a un nivel intermedio emitiendo un primer fotón y luego hacia el nivel fundamental emitiendo un segundo fotón. La conservación del momento cinético impone que el aumento cinético total de los dos fotones sea nulo, lo que según la técnica cuántica implica que sus espines estén fuertemente correlacionados en un estado en el que pueden resultar violadas las desigualdades de Bell (situación que hemos calificado de «sensible».)

En los fotones, el estado de espín corresponde simplemente al estado de polarización de la luz. Para la luz visible hay en óptica unos analizadores de polarización con dos vías, que son los análogos de los analizadores de Stern y Gerlach. En estos sistemas, que hacen uso de materiales birrefringentes o de capas dieléctricas delgadas, los fotones en estados de polarización distintos son desviados en diferentes trayectorias en las que cabe interceptarles mediante detectores (fotomultiplicadores) distintos que proporcionan un impulso eléctrico a la llegada de cada fotón. Se obtiene entonces un experimento muy parecido al de la figura 3. Al emitirse casi simultáneamente los dos fotones del mismo par, un análisis en coincidencia de tiempos de los impulsos eléctricos surgidos de los fotomultiplicadores permite reconocer las señales asociadas a un par dado de fotones en una situación en la que se emite un flujo continuo de pares.

Los dos analizadores de polarización en M_A y M_B pueden girar en torno a su eje: el experimentador puede así elegir a voluntad las direcciones a y b de análisis de las polarizaciones, que pueden ser paralelas, perpendiculares, o formar entre sí un ángulo cualquiera. Midiendo entonces las tasas de coincidencias para distintos pares de orientaciones, se tiene acceso experimental a la cantidad $<R>$ de que hablábamos antes y se puede verificar si está efectivamente comprendida entre -2 y $+2$ (resultado clásico) o por el contrario sale de dichos límites (violación cuántica de las desigualdades de Bell.)

Con brío y con una precisión nunca alcanzada hasta entonces, el equipo de Alain Aspect confirmó el resultado de sus predecesores y la existencia de una violación muy clara de las desigualdades de Bell: su medida de $<R>$ da el valor de $2{,}697 \pm 0{,}015$ (mientras que la mecánica cuántica predice un valor de 2,70 para el experimento). Por supuesto, ningún experimento es perfecto y siempre cabe el escepticismo: en Física, una cuestión de este tipo nunca puede considerarse definitivamente zanjada. Pero el número de verificaciones efectuadas, sobre todo en los experimentos de Orsay, el cuidado con que en cada caso se han verificado en detalle las predicciones de la mecánica cuántica (cuando no existe ninguna teoría competidora capaz de explicar los mismos resultados), hacen que sean muy pocos los que persistan en la duda. Además, los resultados de Orsay fueron confirmados en 1985 por los de un experimento muy elegante(8) realizado por W. Perrie, A.J. Duncan, H.J. Beyer y H. Kleinpoppen, de la universidad de Stirling (Escocia).

¿Hay que entristecerse o alegrarse del éxito de una teoría tan bien establecida como la mecánica cuántica? Es una cuestión de gustos en la que no entraremos. En todo caso, el que entre en contradicción, con la experiencia no hace al teorema de Bell menos interesante, ¡muchos dirían incluso lo contra-

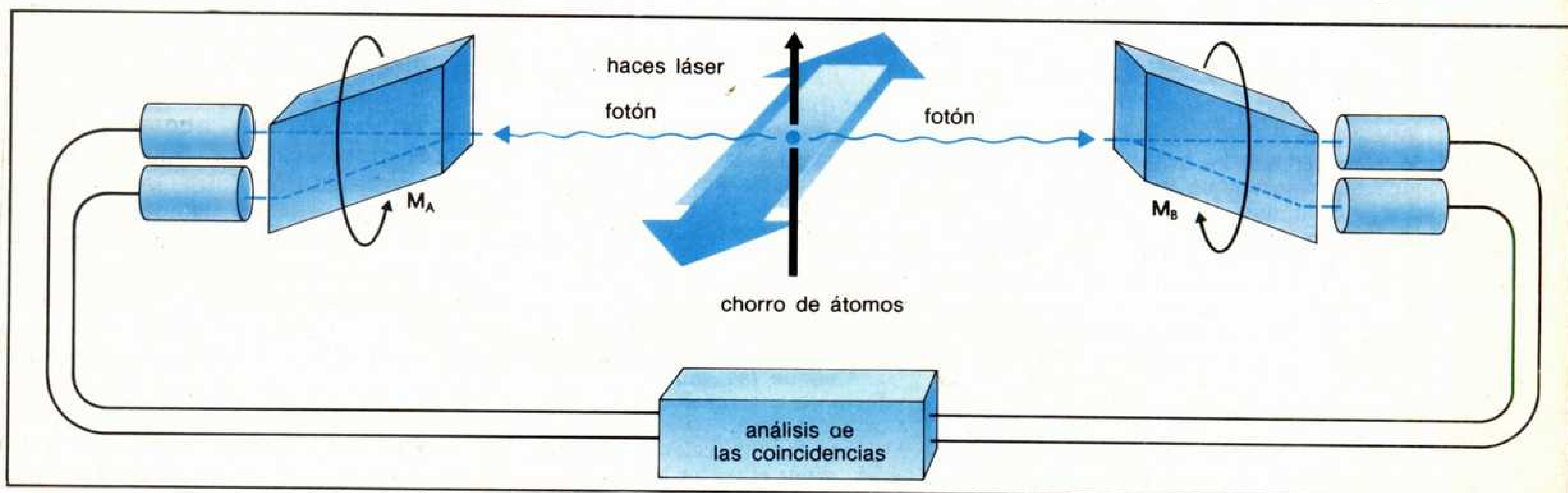


Figura 3. Los experimentos más convincentes entre los que tratan de poner de manifiesto una violación de las desigualdades de Bell por la mecánica cuántica fueron realizados por Alain Aspect, Philippe Grangier y sus colaboradores del Institut d'optique de Orsay. En estos experimentos, una fuente S produce de manera casi simultánea pares de fotones cuyos espines (polarizaciones) están fuertemente correlacionados. Esta fuente es el punto de intersección de un chorro de átomos de calcio (producido por un horno no representado en la figura) y dos haces láser colineales que se propagan en direcciones opuestas. Los fotones son emitidos en direcciones aleatorias, pero si se propagan respectivamente hacia los analizadores M_A y M_B, sus polarizaciones pueden analizarse mediante unos dispositivos que comprenden un sistema óptico birrefringente o de capas dieléctricas en el que la trayectoria de los fotones depende de su polarización, seguido de dos fotomultiplicadores situados en cada una de las posibles trayectorias. Como simbolizan las flechas de la figura, cada dispositivo M puede girar globalmente alrededor del eje de propagación de los fotones permitiendo así analizar distintas polarizaciones. Cada fotomultiplicador convierte los fotones en impulsos eléctricos que son amplificados y analizados en coincidencia con dispositivos electrónicos apropiados.
A través de medidas de las tasas de coincidencia para distintas orientaciones de los analizadores M_A y M_B, este experimento ha permitido verificar de un modo preciso las predicciones de la mecánica cuántica y una violación muy clara de las desigualdades de Bell. En tales condiciones, hay que rechazar al menos una de las hipótesis que conducen al teorema de Bell.

(7) A. Aspect *et al., Phys. Rev. Lett., 49*, 91, 1982; *47*, 460, 1981.

(8) W. Perrie *et al., Phys. Rev. Lett., 54*, 1790, 1985.

rio! En ausencia de resultados experimentales, el teorema de Bell permitía ver ya que había una autocontradicción oculta en las hipótesis de partida del razonamiento EPR. Entre ellas, cabría la posibilidad de poner en tela de juicio la exactitud de las predicciones de la mecánica cuántica. El conocimiento de estos resultados nos permite ahora tratar de buscar en otra parte la hipótesis que rechazar. La utilidad y la fuerza del teorema de Bell pueden ser comparadas con las de una demostración por el absurdo, cuyo objetivo es precisamente la puesta en tela de juicio de una de las hipótesis de partida, lo cual es tanto más inesperado e interesante cuando más plausibles son éstas.

Realismo, localidad, determinismo, divisibilidad... ¿qué hay que poner en tela de juicio?

El razonamiento de EPR se inscribe en la tradición de las filosofías *realistas,* ya que hace referencia a elementos de realidad de sistemas (o subsistemas) físicos. A esta tradición realista se suele oponer el punto de vista *positivista,* para el cual el concepto mismo de realidad física carece de sentido. Para un positivista, el objeto de las disciplinas científicas no puede ser la descripción de la realidad en sí misma, ya que su concepto, caso de existir, se nos escapa; más modestamente, el objeto de la física consiste en hacer predicciones relativas a los resultados de medida y a establecer correlaciones entre condiciones de preparación de los sistemas y resultados observados. En vez de interesarse por los objetos físicos como «cosas en sí», nos contentamos con describir la percepción que tenemos de ellos. Un positivista a ultranza rechazará de entrada el razonamiento EPR y, *a fortiori,* su continuación en el teorema de Bell.

Otra posibilidad consiste evidentemente en rechazar la *localidad,* es decir, la idea de que la revolución de un sistema aislado es independiente de la acción eventual de medidas sobre otro sistema arbitrariamente alejado. Existe todo un continuo de matices en la manera de hacerlo y no entraremos aquí en el detalle de la discusión. Los físicos actuales dudan en rechazar demasiado brutalmente la noción de la localidad y les repugna todavía más hablar de acción a distancia, sobre todo si es instantánea. Para describir, por ejemplo, la atracción de la Tierra por el Sol, consideran que la masa del Sol crea (localmente) un campo gravitacional que se propaga (a la velocidad de la luz) y ejerce (siempre localmente) una fuerza sobre la Tierra. La vinculación de los físicos a la localidad procede en gran parte de la relatividad de Einstein. Como la mecánica cuántica, esta última es una teoría básica de la física moderna y ningún experimento la ha desmentido. La relatividad hace un gran uso de nociones locales, como la de acontecimientos del espacio-tiempo, y conduce a unas dificultades que parecen insolubles si se admite la transmisión instantánea de informaciones por medio de señales que circulan a una velocidad superior a la de la luz. Así pues, un físico que desee renunciar a la localidad lo hará con muchas precauciones.

«¡Todo aquél que no esté preocupado por el teorema de Bell ha de tener una piedra en lugar de cerebro!» escribía recientemente[9] con humor la muy seria revista *Physics Today* con ocasión de un artículo del físico David Mermin. Pero añadía «Einstein sostenía que la "metafísica cuántica" implica unas sobrenaturales acciones a distancia; unos experimentos han puesto de manifiesto que lo que molestaba a Einstein no es ya un asunto sujeto a discusión sino el comportamiento observado del mundo real». He aquí unas declaraciones estrepitosas. Y, no obstante, en sus justamente famosas *«Lectures on Physic»,* Richard Feynman escribía en 1965: «Este punto nunca fue aceptado por Einstein... pero si describimos la situación (el experimento imaginario) tal



como lo hemos hecho, no parece haber ahí paradoja alguna». Sin embargo, el mismo autor escribía en 1981 de un modo más matizado: «Para mí sigue no siendo evidente que haya aquí algún problema real... ¿No es ya increíble que la dificultad pueda ser reducida a una cuestión numérica, a una desigualdad?»

Por nuestra parte, no hemos efectuado ningún sondeo para ver cuál es la reacción de la mayoría de los físicos ante la violación de las desigualdades de Bell. Si tuviéramos que apostar por alguna, optaríamos probablemente por la que cabe calificar con los términos de «no separabilidad» o «no divisibilidad» (como que la palabra «separabilidad»[10] ha sido empleada en la literatura en sentidos bastante diversos, preferiremos hablar aquí de divisibilidad). Con este punto de vista no se renuncia al realismo, sino que se considera que carece de sentido considerar *separadamente* las propiedades físicas de las dos partículas correlacionadas: el sistema total se comporta como un todo y sólo este todo posee los elementos de realidad necesarios para el razonamiento EPR, lo cual convierte a este último en definitivamente caduco. Si se prefiere, es incorrecto *dividir* mentalmente el sistema global en subsistemas. Estos últimos no pueden tener una existencia realmente independiente, pues algunas de sus propiedades físicas no les son inherentes. El punto de vista presenta la ventaja de no alejarse del formalismo matemático de la teoría: esta última atribuye a los dos espines un vector de estado único que describe sus propiedades globales, pero no permite hablar de vectores de estado que describan cada uno de ellos por separado.

Como hemos visto antes, la posición de Bohr va todavía más lejos en la no divisibildad: para obtener un sistema físico que presente una realidad propia, hay que incluir también los aparatos de medida (esta actitud podría parecer positivisa, pero Bohr nunca aceptó este calificativo). En ambos casos, se consideran sistemas físicos extendidos en el espacio, a distancias tan grandes como se quiera, que forman un todo *indivisible* y son capaces de reacciones instantáneamente, en bloque. Otra manera de presentar las cosas consiste en decir que el fenómeno aleatorio que se produce durante la medida no es localizable en una pequeña región del espacio: concierne a la vez varias regiones alejadas. ¿Hay que decir entonces que estamos ante un fenómeno de no localidad? En tal caso, sería indudablemente una localidad un tanto especial, ya que el fenómeno en cuestión es esencialmente no determinista y no permite, por ejemplo, la transmisión de mensajes. Pero, de un modo general, está claro que una descripción no divisible de los fenómenos físicos no constituye una visión muy local: si no contradice de verdad la relatividad de Einstein, tampoco es demasiado compatible con su modo de ver las cosas y se comprende la razón por la que el padre de la relatividad no la encontraba muy seductora...

Hay todavía otro punto de vista, en un cierto sentido más radical que los anteriores: es el de los «mundos múltiples», en el que se considera que los procesos de medida que dan lugar a *uno solo* de los resultados *a priori* posibles no tienen una existencia real. De hecho se realizarían simultáneamente todos los resultados posibles de una medida aunque no pudiéramos ser conscientes de ello. La física se vuelve entonces determinista, ya que el carácter aleatorio de un resultado es una ilusión ligada al cómo percibimos dichos resultados. Este punto de vista audaz fue propuesto por Hugh Everett en 1957 con el nombre algo técnico de «formulación del estado relativo de la mecánica cuántica». Su seducción estriba en su gran

(9) D. Mermin, «Is the moon there when nobody looks? Reality and quantum theory», *Physics Today,* abril 1985, p. 38 (y la correspondencia sobre este artículo en el número de noviembre de 1985). Véase igualmente en *Physics Today,* abril de 1971, «Quantum mechanics debate»; un conjunto variado de contribuciones suscitado por el artículo D. de Witt sobre la interpretación de Everett: «Quantum mechanics and reality», *Physics Today,* setiembre de 1970.

(10) Véase, por ejemplo, el número del *Journal de Physique* citado en «Para más información», en el que utilizó el término «no separabilidad» con el mismo sentido que aquí, pero cuya discusión propició otras definiciones distintas. Hablando de «no divisibilidad» se debería de evitar la ambigüedad. Por lo demás, se trata de los términos utilizados por d'Espagnat en el libro citado en «Para más información».

En el mundo cuántico hay correlaciones completamente distintas de las del mundo cotidiano.

proximidad al formalismo de la mecánica cuántica. Se trata, de algún modo, de la posición ultracuántica que consiste en tomarse en serio hasta el final las ecuaciones de la teoría cuántica. Ello permite librarse de todas las dificultades de interpretación relegando cada resultado posible de una medida a una «rama» de universo distinta. Pero, lo menos que cabe decir es que este punto de vista no es mucho más intuitivo que los demás.

En una vena completamente distinta, en la que también es posible restablecer el determinismo, cabe declararse partidario de las teorías de variables ocultas suplementarias no locales. Renunciar «simplemente» a la localidad parece solventar todos los problemas; como hemos visto, el teorema de Bell nos muestra que, de algún modo, tampoco la mecánica cuántica es local. Esta solución aparece en cierto sentido como la más simple, al menos conceptualmente. Es lo que la hace particularmente seductora. Pero en la práctica no parece atraer demasiado a los físicos, ¿quizá porque aparece como un regreso poco brillante a tiempos pasados? Además, si no está realmente en la línea de Einstein aún lo está menos en la de Bohr: en una teoría del tipo de las variables suplementarias, muchas ideas puramente cuánticas pierden gran parte de su importancia o desaparecen totalmente. Sobre todo, hay que decir que pese a los trabajos realizados en esta dirección (L. de Broglie, D. Bohm, etc.), el punto de vista dista de haber sido desarrollado teóricamente con tanta profundidad como la mecánica cuántica «ortodoxa», lo cual, por supuesto, limita su alcance.

Lo que está en juego en el debate

Si tuviéramos que resumir toda la discusión en una sola frase, cabría decir que lo que está en tela de juicio, contrariamente a lo que se suele decir, no es tanto el *determinismo* como el *realismo local y divisible.* Asimismo, es minimizar lo que está en juego en el debate obtener que las verificaciones experimentales de la exactitud de las predicciones de la mecánica cuántica llevan sólo a eliminar otro tipo de teorías, las llamadas de variables suplementarias locales: en realidad, ni EPR ni Bell presuponen la existencia de tales variables, ya que el objetivo del razonamiento de EPR consiste precisamente en demostrar su existencia. Parece mas justo decir que el punto de partida de EPR es una concepción muy estricta de la noción local de espacio-tiempo (se toman la relatividad muy en serio) y que esta concepción, al conducir a desigualdades que son violadas por la experiencia, ha demostrado ser demasiado estricta. Ello no significa, sin embargo, que estén temblando los cimientos de la relatividad o en general de la física, como a veces se ha dado a entender con una cierta intención sensacionalista. Cabe incluso decir que muchos piensan que el problema no es muy crucial para la física actual: para progresar y devolver interés al debate, habría que hacer como Bell, aportando una idea nueva que permitiera decidir entre los diferentes puntos de vista que siguen siendo posibles. Después de todo, no es la primera vez unas mismas teorías o unos mismos datos experimentales se pueden incorporar a marcos conceptuales o filosóficos distintos. Pero en la actualidad no existe realmente ninguna teoría tan potente como la mecánica cuántica, que sea capaz de tomar su relevo el día que sea neceario.

Por último, si bien hay físicos, y de los mejores, que piensan que toda esta discusión es un poco académica, a nosotros no nos parece inútil, ya que permite una mejor comprensión de la teoría y el descubrimiento de un nuevo e intersante efecto cuántico. Sabíamos ya que el vector de estado que describe un sistema físico podía ser un objeto matemático no divisible (bastaba con escribir algunas fórmulas para verlo); ahora sabemos que esta no divisibilidad matemática tiene unas consecuencias no triviales en los resultados físicos de medidas, lo cual no era evidente *a priori.* Si se prefiere, hay en el mundo cuántico ciertos tipos de correlaciones completamente distintas de aquellas a las que estamos acostumbrados en nuestro mundo cotidiano, unas correlaciones cuyo origen no es la fluctuación de una causa pasada común. Ello demuestra que en ecuaciones simples y conocidas, como las ecuaciones básicas de la mecánica cuántica, se esconden a veces unos fenómenos inesperados e interesantes. ¿Nos reservará quizás el futuro otras sorpresas. ■

Para más información:

● «Les implications conceptuelles de la mécanique quantique», *Journal de Physique Colloques,* C-2, 1981.
● «Images de la physique 1984», *Courrier du CNRS,* suplemento del n.º 55, pp. 7 a 12: «Une prévision étonnante de la mécanique quantique à l'épreuve de l'expérience».
● S. Deligeorges (bajo la dir. de), *Le monde quantique,* Seuil, 1984.
● B. d'Espagnat, *En busca de lo real,* Alianza Editorial, 1983; *Une incertaine réalité,* Gauthier-Villars, 1985.
● J.F. Clauser, A. Shimony, «Bell's theorem: experimental tests and implications», *Reports on Progr. in Physics, 41,* 1881, 1978.
● S. Ortoli, B.P. Pharabod, *El cántico de la cuántica,* Gedisa, 1985.
● F. Selleri, *El debate de la teoría cuántica,* Alianza Editorial, 1986.

INFORMÁTICA

Impresora LaserJet 500 PLUS de Hewlett-Packard.



La impresora LaserJet 500 Plus, presentada por Hewlett-Packard, añade un eslabón más a la cadena LaserJet, ofreciendo una impresora con mejores posibilidades en la manipulación del papel.

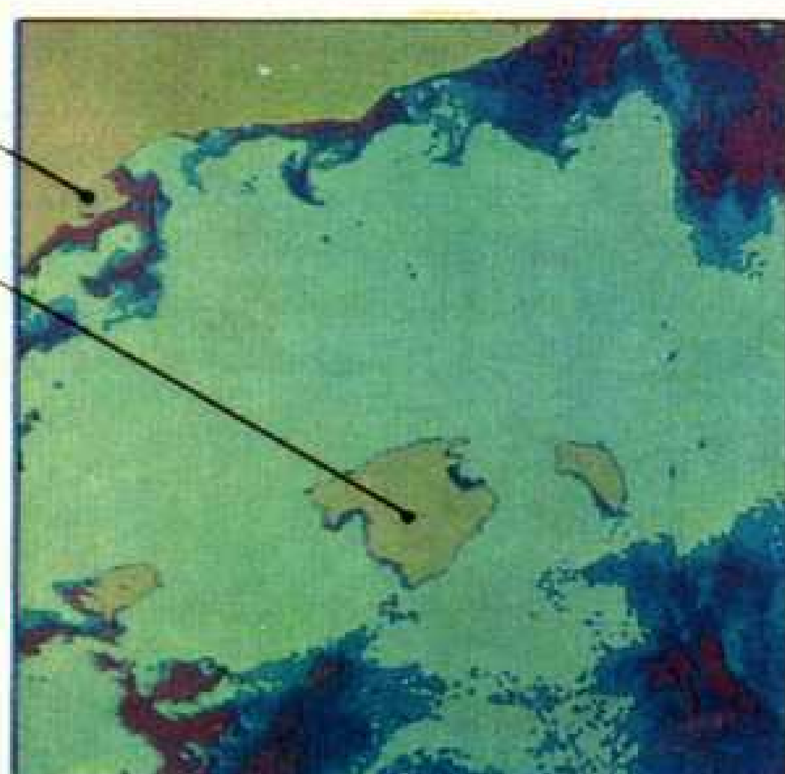
Mantiene las características de modelos anteriores, entre ellas: gráficos intercalados en el texto, impresión de 8 páginas por minuto, muy silenciosa, resolución de 300 puntos por pulgada, caracteres de carga descendente, etc.

La principal novedad reside en las bandejas de colocación del papel. Posee dos bandejas de entrada con capacidad para 250 hojas cada una y una de salida con la misma capacidad. La selección de la bandeja de entrada puede realizarse desde el teclado del ordenador, ello permite jugar en todo momento con dos tipos de papeles distintos.

Además la salida de las hojas es de forma inversa, con lo que el documento impreso queda ya directamente en orden de lectura. Al encadenarse distintos trabajos, la propia impresora los coloca en la bandeja de salida ligeramente desplazados, facilitando así su identificación.

Ofrece total compatibilidad en el software desarrollando para las impresoras de la misma familia. Presenta conexiones en paralelo RS 232-C y Centronics. Ello la hace compatible con el gran conjunto de los PC's, de además otros muchos ordenadores multiusuario.

Las imágenes del satélite



La fotografía recoge los frentes de clorofila existentes en el Archipiélago Balear y Delta del Ebro, en una pasada del satélite oceonográfico NIMBUS-7 (13 de mayo de 1982). Hay 5 intensidades de concentración de clorofila, desde el violeta al azul claro (de mayor a menor).

Se puede observar cómo estos frentes están asociados a la corriente que viene del Golfo de Lion hacia el Levante Español.

Los múltiples satélites que rodean la Tierra proporcionan imágenes de la misma que a veces pueden llegar a sorprendernos. La empresa Ibersat es especialista en la interpretación con ayuda del ordenador de las imágenes procedentes de satélites. La teledetección, combinada con las técnicas más sofisticadas puede aportar nuevos e interesantes datos a campos como la Oceanografía, la Geología, la Minería, la Agricultura, la Edafología, etc.

El equipo utilizado para el proceso de las imágenes se basa en un ordenador PDP de Digital, un procesador de imágenes Aries III y una unidad de transformación fotográfica Polaroid.

Nuevo ordenador PC 1512 de Amstrad



La empresa Indescomp acaba de presentar su nueva estrella, se trata del ordenador Amstrad PC 1512 que se ofrece como un producto compatible con el PC de IBM.

La configuración más sencilla incluye la unidad central con un procesador Intel 8086 MHz.; memoria de 512 K (ampliable a 640 K); unidad de discos de 360 K con floppys de 5 pulgadas y cuarto; interfaces serie (RS 232C) y paralelo; reloj de cuarzo con batería y un ratón con dos pulsadores. El soporte lógico consta de los sistemas operativos MS DOS 3.2 y DOS PLUS; el entorno GEM, diseñador de gráficos (con el GEM Desktop y el GEM Paint) y el Basic 2.

La configuración situada en la gama alta incluye un monitor en color y un disco duro de 20 Megas. Entre ambas se puede elegir todavía entre cuatro alternativas.

Al tratarse de un ordenador compatible PC, puede utilizar la ingente cantidad de logiciales disponibles, en particular aumentar el entorno GEM básico que se suministra con otros programas como el GEM Write (un procesador de textos), el GEM Draw (un programa de diseño), etc.

Las características más sobresalientes del nuevo equipo son sin duda alguna su precio, muy competitivo y un par de detalles técnicos atrayentes: el rápido procesador 8086 y la posibilidad, en la configuración inicial, de 16 colores en los gráficos de alta resolución. El ratón añade el toque original y, a la vez, de gran utilidad.

Charles M. de La Condamine
Viaje a la América Meridional por el río de las Amazonas. Estudio sobre la quina
Presentación de Antonio Lafuente y Eduardo Estrella, Barcelona, Editorial Alta Fulla y «Mundo Científico», Colección «Noctulabium», n.º1, 1986, 222 pp.

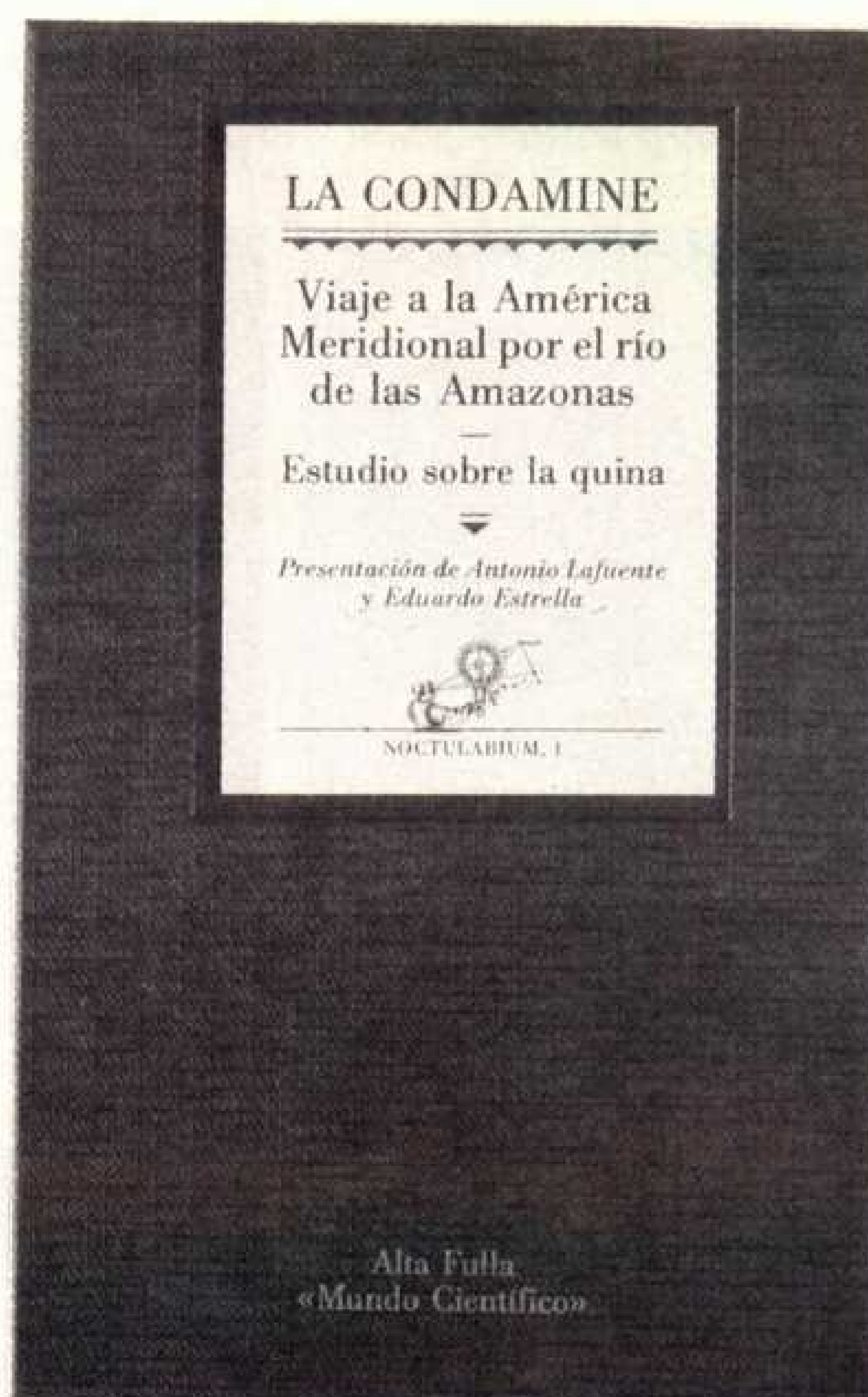
Charles Marie de la Condamine fue, como es sabido, uno de los más notables miembros de la expedición que en 1735 se dirigió al Perú con el fin de determinar el valor de un arco meridiano terrestre en la zona ecuatorial. Aquella medición, contrastada con la que casi simultáneamente iba a realizar Maupertius en tierras de Laponia, permitiría zanjar la vieja polémica acerca de la figura de la Tierra y establecer una precisa medida de su magnitud.

Lo que podría suponerse una difícil, aunque limitada misión geodésica, daría lugar, en realidad, a una importante y dilatada expedición científica, cuyos trabajos se prolongaron durante toda una década. Con su inevitable cortejo de aventuras e imprevistos, la expedición al Perú dejaría tras de sí, junto a sonoras polémicas, una impresionante cosecha de observaciones astronómicas y geográficas, y un buen número de estudios sobre diversos aspectos de la realidad americana.

Dos de estos trabajos, debido a la pluma del marino francés, son los que nos presenta en cuidada edición la primera entrega de la colección «Noctulabium». Una colección de obras clásicas de la historia del pensamiento científico, que ha añadido a su haber recientemente la *Filosofía zoológica* de Lamarck y *Principio de relatividad* de Blas Cabrera, y que, desde luego, ha iniciado con buen pie su andadura. En efecto, los estudios de La Condamine constituyen dos interesantes contribuciones a la literatura científica del siglo XVIII.

El *Viaje a la América Meridional*, publicado originalmente en castellano en la ciudad de Amsterdam en 1745 (precisamente la versión que ahora se reedita), recoge la memoria que el autor había de presentar ante la Academia de la Ciencia de París para dar cuenta de los trabajos realizados en el trazado de un mapa de la cuenca del río Amazonas. El difícil curso del gran río americano había sido el camino elegido por La Condamine para regresar a Europa, una vez finalizados los trabajos geodésicos del Perú. Cuando el marino francés inicia ese largo periplo fluvial la configuración precisa de la enorme cuenca seguía siendo, en buena medida, un enigma. Y, desde luego, los mapas disponibles resultaban insatisfactorios. Así pues, trazar un moderno mapa del curso del río Amazonas y sus poderosos afluentes, basado en personales y exactas observaciones hidrográficas y astronómicas es la tarea que se marca La Condamine, y a ella se entregará con tenacidad. «Se me hacía preciso –escribe nuestro autor– estar en una atención continua, para observar, la aguja y el reloj en la mano, los rumbos de las vueltas del Río y la duración de cada una de ellas; las varias anchuras de la madre del Río, el tamaño de las bocas de aquéllos que le entran, y sus direcciones; el número y longura de las islas; también para sondar a veces la profundidad, para medir las velocidades de la corriente...

El *Viaje* contribuye así, en primer término, un ceñido relato de las numerosas y diversas observaciones realizadas para cartografiar un mundo inhóspito y casi desconocido. Pero es también, claro está, un fiel registro de la selectiva mirada que un científico setecentista dirige al medio hostil y fascinante de la selva amazónica.



La Condamine no era un naturalista avezado, de modo que sus descripciones sobre la flora y la fauna amazónica son siempre escuetas. Apenas breves notas que en ocasiones adolecen de precisión, y casi siempre de brillantez. Sin embargo, el lector moderno encontrará en este libro, amén de los motivos estrictamente científicos, muchos elementos de interés. Entre ellos una prolija relación de las misiones abandonadas en la espesura de la selva. Puntual, pero inequívoco testimonio del fracaso de la misión «civilizadora» europea. Asimismo, la fascinación del viajero ante la diversidad lingüística de las tribus indígenas. Fenómeno éste que reclama una y otra vez la atención de La Condamine, vislumbrando sus múltiples implicaciones. A su paso por San Joaquín, en el río Marañón, nos dice: «Hice vocabulario corto en la lengua Omagua y en otras, en el cual recopilé los términos más usados; cuyo cotejo, cuando se pueda hacer con varios idiomas de África, Europa, Asia e Indias Orientales, quizás es el único medio para descubrir el origen de los naturales de la América, y cual parte de nuestro hemisferio ha poblado el nuevo Mundo». En fin, al lado de todo esto, y quizá por encima de todo, el *Viaje* es un ajustado diario de las penalidades y aventuras de una navegación difícil y arriesgada a lo largo de miles de kilómetros de un laberinto de ríos y canales atrapados por la selva.



Mucho menos conocido que el *Viaje a la América Meridional* es el *Estudio sobre la quina.* Una descripción del árbol fibrífugo escrita por la condamine con ocasión de un viaje a Loja en 1737, y que aquí se reproduce en la traducción manuscrita realizada por el médico panameño López Ruiz en 1778. Pese a sus limitaciones como botánico, La Condamine realizó una pulcra y ordenada memoria científica, en la que estudia el género, especie, propiedades e historia de los usos de la planta, que puede considerarse pionera entre las modernas descripciones científicas de la cascarilla de Loja.

La reedición de los trabajos citados va acompañada por una correcta reproducción del mapa trazado por La Condamine, y por cuatro buenos grabados de la rama, hoja y órganos de fructificación del árbol de la quina. Junto a ello, un informado y muy bien escrito estudio preliminar de Antonio Lafuente y Eduardo Estrella, del que sólo cabe lamentar su brevedad, son dos motivos más para recomendar la lectura de este libro. ■

Luis Urteaga.

H. Sáenz de la Calzada
La Residencia de Estudiantes
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1986

La historia que aquí se cuenta acabó bruscamente hace medio siglo. Este libro pretende ser un homenaje a la labor tenaz de un puñado de pioneros de nuestra modernización científica e intelectual; con su publicación el CSIC quiere devolver a la Residencia su viejo nombre, y con él su tradición más viva.

Acogido al archivo de Federico García Lorca, es de esperar que sigan llegando los de otros antiguos residentes. La investigación y el estudio de su labor, iluminarán la que hoy se está acometiendo.

Este cerro madrileño, que aún conserva algo de su recoleto encanto, cuando en él se encontraron gentes de todas las partes de España, bien puede llamarse la «Colina de la Ciencia», al acoger algunas instituciones que han sido capitales en el desarrollo de nuestro sistema investigador, ahora en plena fase de transformación en un verdadero sistema Ciencia-Tecnología. Confío en que la actividad que despliegue la nueva Residencia, profundamente renovada, ayude a nuestra investigación, como espacio de acogida, cordial y sencilla, de todos los investigadores, españoles y extranjeros; caja de resonancia de sus inquietudes ante el resto de la sociedad espa-



ñola; ventana abierta al quehacer científico en todo el mundo, singularmente en la Europa a la que nos hemos unido en este 1986. Como crisol en que se fundan la ciencia y la cultura.

Todos estos objetivos también eran perseguidos, hace ochenta años, por la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Jiménez Fraud solía responder cuando se le preguntaba acerca de la Residencia: «Esperad que pasen cincuenta años». Hoy sabemos lo mucho que debe España a la visión de aquellos pioneros. Dentro de otros cincuenta años estaremos en un nuevo milenio y podrá hacerse el balance de estos otros días, que serán considerados, sin duda, los del definitivo florecer de la Ciencia Española. ■

Enric Trillas
Presidente del Consejo Superior
de Investigaciones Científicas

J.B. Harbone
Introducción a la Bioquímica Ecológica
Col. Exedra, n.º 145.
355 pág., Ed. Alhambra, Madrid 1985.

Las relaciones entre los seres vivos son muchas veces más sútiles de lo que son capaces de observar nuestros ojos. El lenguaje químico que subyace en las interacciones ecológicas entre los organismos puede explicar fenómenos desconcertantes si se intentan interpretar bajo cualquier otro aspecto.

Por ejemplo, ¿por qué razón si empleamos papel de la revista Scientific American (edición norteamericana) como sustituto de papel de filtro sobre el que desarrollar la metamorfosis del chinche europeo *(Pyrrocoris apteris)*,* ése se obstina en no pasar de la quinta etapa larvaria?. Mientras que si se sustituye por papel de Mundo Científico el chinche alcanza su fase adulta. La razón sólo puede ser explicada empleando analizadores de pequeñísimas cantidades de compuestos bioquímicos. El papel norteamericano contiene juvabiona, un análogo estructural de la hormona juvenil del insecto en cuestión, ya que el árbol que mayoritariamente se emplea en Norteamérica para elaborar pasta de papel, *Abies balsamea,* lo sintetiza para defenderse del ataque de un áfido del género *Eriosoma.* El papel europeo, al fabricarse con árboles distintos no contiene este compuesto y no inhibe, por tanto, el paso a insecto adulto. Esta sería una diferencia más entre ambas revistas científicas, totalmente imperceptible para nuestros sentidos.

Esta ingerencia de los vegetales en la bioquímica propia de los animales es algo que acogieron los naturalistas de primeros de siglo con total escepticismo. Ahora el cúmulo de casos es tan grande que no nos resta más que maravillarnos del intenso efecto de la coevolución entre plantas y animales, que ha permitido que éstas no acabaran siendo aniquiladas por la miriada de fitofágos que forman el mundo animal.

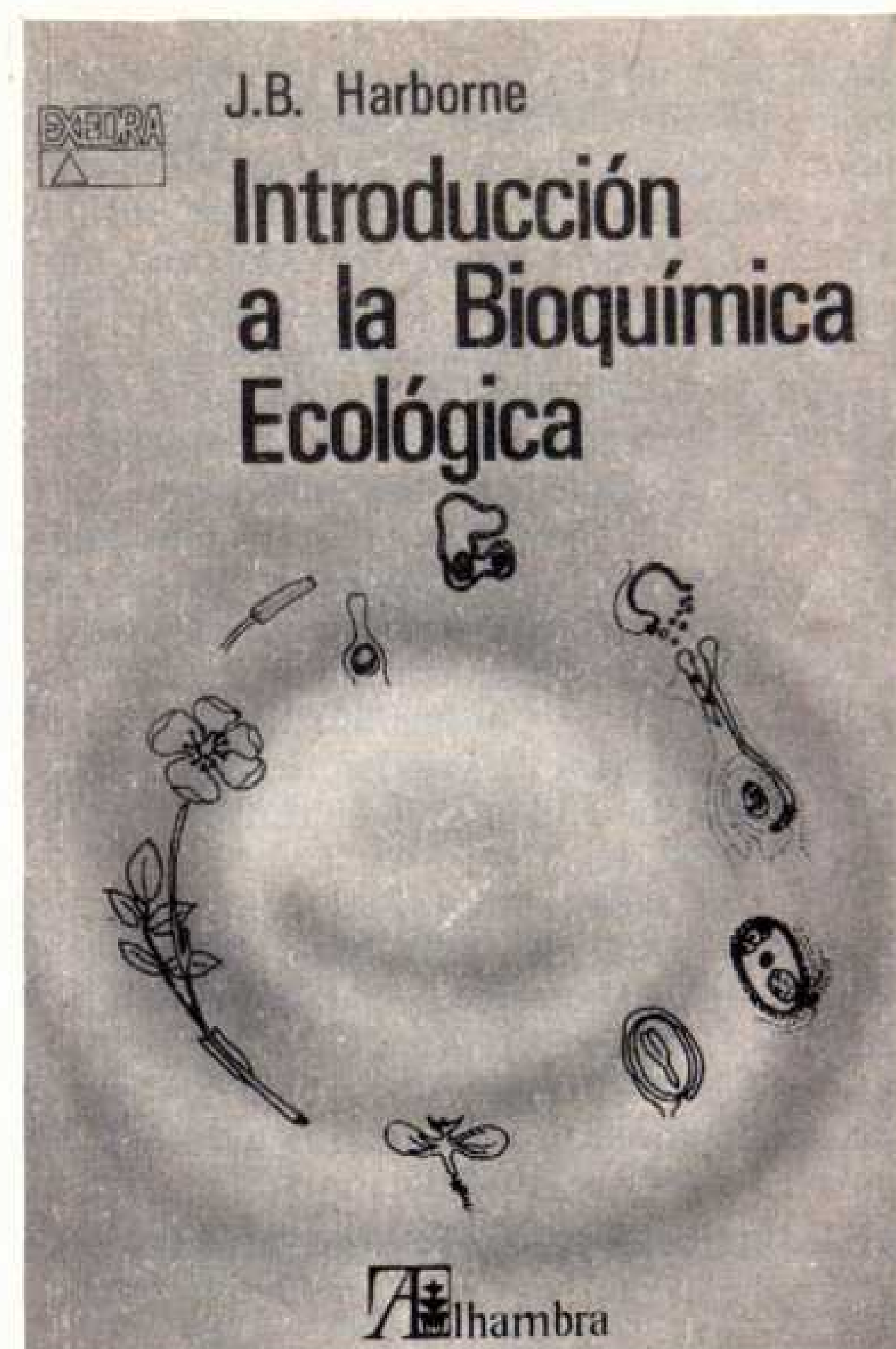
Este libro es un relato apasionante del sinfín de interacciones en el plano del lenguaje bioquímico, o de la especialización bioquímica, a condiciones ambientales especiales. Cada capítulo está compuesto de una gran cantidad de casos estudiados de este tipo de adaptaciones e interacciones, lo que proporciona un elevado interés y amenidad.

El primer capítulo del libro trata de las adaptaciones bioquímicas de las plantas a los climas extremos (frío, calor, sequedad, suelos inundados), a suelos especiales (contaminados con metales pesados, o salinos) y de los procesos de desintoxicación (de fenoles, fungicidas, etc.). Los restantes capítulos se centran en las interacciones entre plantas, animales y plantas y animales. El capítulo dedicado a la polinización es especialmente seductor, ya que describe algunas de las coadaptaciones más espectaculares. Esta coevolución no afecta solamente a la forma de las flores, sino a todo un arsenal de atrayentes bioquímicos: los colores de los pétalos, los aromas, el néctar y los compuestos que contiene, las guías-miel, el polen, etc. Por ejemplo la atracción de la orquídea abeja hacia algunos himenópteros macho no es solamente debido a la forma de la flor que imita a una abeja peluda, sino que además la flor emite el mismo olor sexual de la abeja hembra, por lo que el macho cree realmente que está copulando con ella, aunque solamente está polinizando a la flor.

Otros capítulos están dedicados a las defensas de las plantas contra los fitófagos, que incluye la síntesis de multitud de toxinas (de los grupos de los cianógenos, alcaloides, glicósidos, taninos, etc.), así como la síntesis de compuestos iguales o análogos a moléculas propias de animales (feromonas, hormonas). Es significativo el caso del control de natalidad por medios hormonales que muchas plantas inducen a sus huéspedes fitófagos, especialmente cuando el alimento es escaso. Por ejemplo en los años de sequía las leguminosas de las que se alimenta la codorniz, sintetizan isoflavonas estrogénicas que reducen la puesta de huevos en las hembras.

Otro capítulo está centrado en el estudio de los compuestos presentes en las plantas que determinan que sean apetecidas o no por los animales, incluido el caso del hombre. Se han encontrado gran número de moléculas responsables del aroma, del sabor, así como del dulzor, de potenciadores y modificadores de sabor, etc., que tienen o pueden tener un gran interés para la industria alimentaria.

Otro capítulo está dedicado a los mecanismos químicos defensivos de los animales (muchas veces extraídos de las plantas de las



que se alimentan), y a la comunicación química entre ellos, especialmente a través de feromonas (sexuales, de rastro, de alarma, etc.).

Finalmente los dos últimos capítulos tratan de las interacciones entre vegetales, ya sea en forma de alelopatía (inhibición del crecimiento de las plantas cercanas a la que segrega inhibidores), o por la guerra química que se establece entre plantas superiores y hongos, con la fabricación respectiva de fitoalexinas (fungicidas) y fitotoxinas.

En resumen se trata de una excelente introducción al apasionante apartado de la ecología que es la bioquímica ecológica, la cual permite explicar muchas de las relaciones aparentemente incomprensibles que se da en la ecología descriptiva. Otro aspecto a resaltar es la importancia que tiene esta línea de investigación para la agricultura y la industria alimentaria, ya que se aporta un arsenal inmenso de moléculas naturales activas como insecticidas, fungicidas, herbicidas, y unos sistemas de control de plagas más sútiles y específicos que los empleados hasta ahora.

Como último comentario, y empleando el mismo vocabulario del libro, se puede afirmar que la cubierta de este libro (y en general de toda esta colección), constituye un excelente «repelente visual» hacia los potenciales «consumidores» de este tipo de libros. ■

Jaume Serrasolsas.

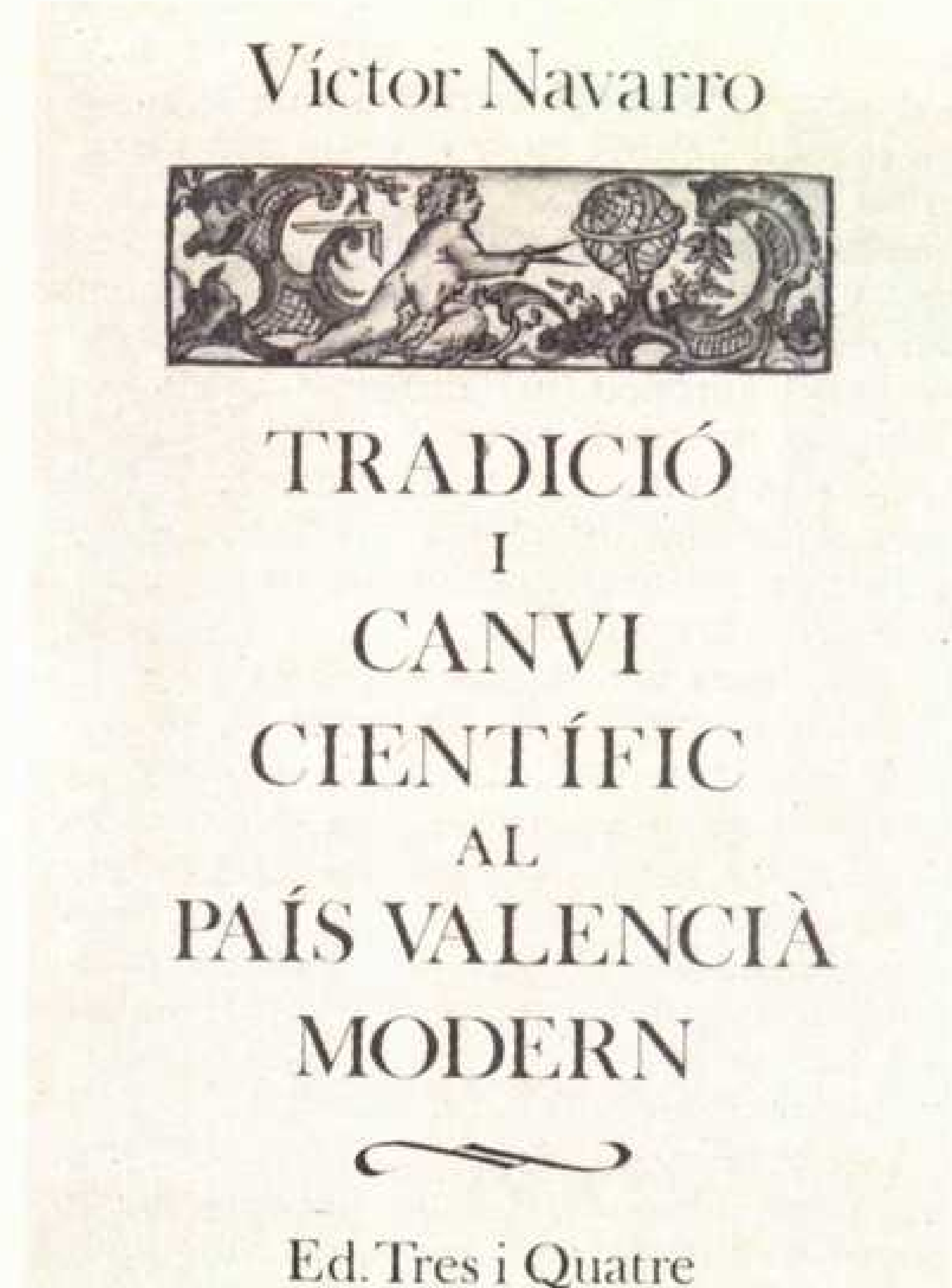
Víctor Navarro Brotons
Tradició i canvi científic al País Valencià modern (1660-1720): les ciències físico-matemàtiques
Eliseu Climent, editor, Valencia 1985, 262 pp.

No es raro leer y oír, en boca de representantes de la comunidad científica o de responsables políticos españoles, que nuestro país carece en absoluto de tradición científica. Puede ser que, en realidad, afirmen la poca relevancia de la investigación científica llevada a cabo en España. La refe-

rencia para la evaluación de esta relevancia suele ser, sin embargo, confusa; y uno debe suponer que se trata del concierto internacional *actual* como si siempre hubiese sido el mismo y como si fuese, en todo caso, una referencia *absoluta*. El contexto de los comentarios sobre la inexistencia de tradición investigadora suele ser el análisis de la situación de la investigación de hoy en nuestro país y las medidas que hay que tomar para transformarla. Este objetivo, sin embargo, exigiría un cierto rigor y debería decirse que una de las principales debilidades no está en la tradición investigadora sino en la historiográfica, que no ha conseguido todavía aportar elementos para un conocimiento suficiente de lo que ha sido la vida científica española en la historia.

Hay que saber, sin embargo, que en los últimos 75 años, con dificultades y sin haber conseguido establecerse adecuadamente en el mundo de la investigación, existe en nuestro país una literatura en historia de la ciencia que, en algunos casos, ha conseguido aportaciones de relieve internacional. Es en esta literatura que se inscribe el último trabajo de Víctor Navarro Brotons, investigador de historia de la ciencia desde hace unos quince años en la Universidad de Valencia. Recibió por el libro que comentamos el premio «Vicent Peset Aleixandre», en el marco de los premios «Octubre» que se otorgan todos los años en Valencia.

El tema abordado por Víctor Navarro es el desarrollo de la filosofía natural, las matemáticas y la astronomía en el cambio del siglo XVII al XVIII, un período que ha sido considerado clave en la historia de la ciencia ya que incluye la culminación, con Newton, de la llamada Revolución científica, proceso en el que suelen incluirse las aportaciones de Copérnico, Galileo, Kepler, Descartes y Newton, como nombres significativos en el campo de las ciencias físico-matemáticas. Navarro da una descripción de las contribuciones del grupo valenciano que es conocido con el nombre de los «novatores», recogiendo, aunque en un contexto diferente, la denominación que utilizaron sus contradictores contemporáneos, anclados en el pensamiento tradicional. Navarro discute las aportaciones de las tres principales figuras valencianas, Josep Saragossa, Joan Baptista Corachan y Tomàs Vicent Tosca. Los tres tienen en común haber emprendido el estudio y la difusión de la nueva ciencia bajo un prisma moderno. Ellos, con sus discípulos y colaboradores, representan un núcleo (minoritario) de personas que reaccionaron contra el aislamiento impuesto a la vida española por la política de los austrias, en la que la intransigencia religiosa, junto a sus opciones para defender la primacía del Imperio, condujo a un parón muy importante en la actividad científica española la cual, además, quedó descolgada del nuevo estilo de pensamiento que se desarrollaba en el centro de Europa, Italia y Gran Bretaña. En este contexto, una actividad básica para el desarrollo de la nueva ciencia, lo que hoy llamaríamos tecnología y que comprendía los estudios de técnicas de navegación, comerciales, mineras, etc., no condujo a nuevas especulaciones teóricas, base de la nueva filosofía (física), según las discusiones actuales (véase, por ejemplo, J.A. Bennet en *History of Science*, 24, marzo 1986, pp. 1-28). Navarro destaca el hecho que, junto a los trabajos que publicaron, Saragossa, Corachan y Tosca dedicaron un esfuerzo importante en crear instituciones de debate científico. Teniendo en cuenta el anquilosamiento de la Universidad



(en su caso, la de Valencia), estos intentos de institucionalización fueron privados, con un carácter de «tertulia» en la que, de todos modos, se discutían cuestiones de ciencia avanzada y se exponían observaciones o experiencias llevadas a cabo por sus miembros.

El libro de Navarro incluye discusiones *técnicas* sobre las fuentes o las opciones científicas de los autores que trata: su actitud, basada en la existencia de obras de conjunto como la de José M. López Piñero sobre la ciencia y la técnica en España en los siglos XVI y XVII (Labor, 1979), no deja de ser saludable. La literatura peninsular de historia de la ciencia está demasiado llena de obras de «divulgación», que en muchas ocasiones ocultan la inexistencia del estudio y la investigación de las fuentes y la ignorancia de los trabajos ya realizados. En este sentido, el libro de Navarro es útil tanto para el interesado por la historia de la ciencia (y no solo en su difusión en España) como para los (todavía escasos) estudiosos.

El balance en cuanto a las aportaciones «originales» de los *novatores* valencianos en el campo de las ciencias físico-matemáticas es más bien pobre. Se «limitaron» a introducir entre nosotros las discusiones de su tiempo sobre cuestiones de mecánica, hidrostática, óptica, astronomía, matemáticas, etc. Sus fuentes fueron autores de su época como Athanasius Kircher, Giovanni Batista Riccioli, Claude François Millet Dechales, entre otros, que fueron los principales divulgadores de las aportaciones de Galileo, Kepler, Gilbert, Descartes o Gassendi. Su acción, sin embargo, tuvo trascendencia en el mundo científico peninsular pues lograron superar el aislamiento existente y fueron el punto de partida del movimiento ilustrado. De este modo, casi doscientos años de la historia de las ciencias físico-matemáticas en España se ligan a su acción. Este hecho supone un contrapeso importante respecto a si sus aportaciones fueron o no decisivas en el avance del conocimiento. Éste tiene lugar, en general, como fruto de un esfuerzo continuado, realizado en condiciones materiales adecuadas. El gran desarrollo de las ciencias aplicadas en los siglos XVI y XVII en España, dada la *voluntad política* de la sociedad, no dio lugar a la «nueva ciencia». Sólo algunas personas, «refugiadas» en condiciones favorables, lograron romper la tendencia dominante. Ésta, y otras cosas, puede sugerir el trabajo de Víctor Navarro. ■

C. Darwin,
The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits,
326 p., The University of Chicago Press.

Darwin dedicó su último libro (1881) a los gusanos de tierra, del que se ha hecho una reedición en facsímil. El tema es muy modesto, y después de la teoría de la evolución por selección natural ¿se rebajó el gran naturalista a estudiar cuestiones indignas de su genio?

En su prefacio, Stephen Jay Gould muestra de manera convincente que no se trata en absoluto de esto. Darwin sabía utilizar los «pequeños» temas para reflexionar sobre los «grandes» problemas. Los gusanos de tierra, explica, han desempeñado «un papel más importante en la historia del mundo de lo que se supone generalmente». Con perseverancia, lentamente y con seguridad, trabajan el suelo modificando su estructura: desplazando toneladas y toneladas de tierra, hunden todo lo que hay en la superficie y hacen aflorar lo que está hundido. Pequeñas causas, grandes efectos. Y también una buena ocasión para hacerse preguntas sobre el tiempo y la historia. De paso, Darwin habla de la inteligencia de estas pequeñas bestias y de los servicios que prestan a los arqueólogos. Si usted ama la vida natural, no dude en sumergirse en este texto que trata de la zoología, pero también de la geología y del método experimental. ■

B.P. Marin,
Biochemistry and function of vacuolar adenosine-triphosphatase in fungi and plants,
260 p., Springer Verlag

La vacuola, el organito más voluminoso de la célula vegetal, aparece cada vez más como desempeñando un papel importante en las estrategias de funcionamiento de los vegetales al nivel celular. Actualmente se admite que un flujo de protones es orientado desde el citoplasma a las vacuolas de las células vegetales. El libro editado por L. Marin presenta los conocimientos actuales sobre la naturaleza, el funcionamiento y el papel que desempeñan las bombas de protones de tipo ATPésico situadas en la membrana vacuolar: el tonoplasto en los champiñones y en los vegetales superiores.

Esta completa obra, a veces un poco redundante, presenta un examen crítico de distintas metodologías y unas interesantes reflexiones sobre las dificultades experimentales presentadas a este tipo de estudio.

Sensibiliza a los lectores no enterados sobre los problemas de los intercambios citoplasma/vacuola en las plantas, y ofrece a los especialistas una interesante base para progresar en el conocimiento de los sistemas de transferencia de protones a través del tonoplasto. ■

E. Schatzman,
Les enfants d'Uranie,
220 p., Seuil

Existe la vida en otras partes del Universo y podemos encontrarla? Pregunta candente a la que la ciencia, a partir de un análisis cada vez más ceñido de la aparición y de la primera evolución de la humanidad, aporta actualmente elementos de respuesta: sin duda es reductible, según una metodología que no hubiese desaprobado Descartes, en una serie de problemas muy precisos. Así, los astrónomos pueden evaluar la probabilidad de existencia de un planeta de tipo terrestre. A continuación de esto, los químicos pueden imaginar sus condiciones físico-químicas, después los biólogos las condiciones favorables para la aparición de las primeras estructuras vivientes y para su ulterior evolución. Los sociólogos y los antropólogos también se arriesgan a evaluar las posibilidades y la rapidez del acceso a la inteligencia.

El mérito de la obra de Evry Schatzman es exponernos, de manera sintética, los enfoques y las conclusiones de los científicos sobre esos distintos campos. La aparición, en alguna parte del Cosmos, de la vida o incluso de una civilización inteligente, tal y como la reconstruyen estos científicos, no contradice ningún principio, ninguna evidencia, de la ciencia moderna. Muy al contrario, a menudo parece inevitable.

Pero sin duda, la conclusión decepcionará a algunos: para ningún eslabón de esta cadena de interrogantes no aparece ninguna respuesta definitiva, puesto que sólo puede afirmarse una posibilidad. Además, todo esto sólo concierne a una visión muy antropomorfa de lo que se llama la vida. Si bien esta obra hace un balance de un tema eterno, y sin embargo en pleno desarrollo, en cambio deja un bonito futuro para los soñadores y para los escritores de ciencia-ficción. ■

Recherches gallo-romaines I,
428 p., Ed. de la Réunion des Musées Nationaux

Cinco estudios, correspondientes sucesivamente a la comparación de conjuntos de objetos de plata, la tecnología de fabricación de bronces y distintas caracterizaciones de utensilios cerámicos, componen este volumen dedicado a la época galo-romana. En ellos se presentan sistemáticamente eficaces métodos físicos, químicos y estadísticos sobre series significativas de distintos utensilios arqueológicos. Los trabajos han sido realizados en común por arqueólogos e investigadores de laboratorio a partir de problemáticas claramente definidas en cada caso. Los resultados, muy positivos en su conjunto, enriquecen concretamente el conocimiento y conducen a profundizaciones de hipótesis, aunque sin aportar el punto final. Esta publicación, particularmente bien presentada y ejemplar de más de un título en el fondo y en la forma, es de las que hacen progresar indiscutiblemente la ciencia arqueológica e ilustran la eficacia de la inevitable tarea interdisciplinaria en este campo. ■

M. Ackenhell y N. Matussek (eds.),
Special aspects of psychopharmacology,
386 p., Expansion Scientifique Française

Esta obra es una recopilación de comunicaciones científicas resultado de un simposio celebrado en Sainte-Maxime en 1982. El tema central es la farmacología y el impacto clínico de una familia de neurolépticos, las ortometozibenzamidas. Eminentes especialistas de todas las partes del mundo proporcionaron su contribución a este estudio, mostrando principalmente las relaciones entre las benzamidas y el sistema dopaminérgico. Este libro, de un excelente nivel pero tratando un campo muy particular, se dirige únicamente a los especialistas de la psicofarmacología. ■

G. Cognet, J. Mallet,
Visualisation et traitement d'images,
410 p., Institut national polytechnique de Lorraine

En esta obra se reúnen las comunicaciones científicas presentadas por los laboratorios franceses universitarios, industriales o de grandes organismos en el coloquio de visualización y de tratamiento de imágenes celebrado en Nantes en 1985. Su contenido y su presentación difieren pues de las obras científicas habituales.

El conjunto de las distintas comunicaciones constituye sin embargo una información muy interesante para los ingenieros y los técnicos enfrentados a los problemas de los derrames lentos o rápidos y al estudio de fenómenos evolutivos. Se presentan numerosos métodos de visualización, así como las técnicas de tratamiento de los datos o de las imágenes que permiten extraer de ellos información. Los numerosos esquemas e ilustraciones en esta obra le dan un atractivo suplementario. ■

P. Watkins,
Story of the W and Z,
240 p., Cambridge University Press

En este libro, P. Watkins cuenta lo más fiel y completamente posible, para un amplio público, la aventura científica que condujo al descubrimiento de los bosones intermedios W y Z en 1983 en el CERN. Esta narración se dirige a la vez al conjunto de la comunidad de físicos de las partículas y a todos quienes desean conocer los aspectos físicos, técnicos y sociológicos de un gran experimento en colisionadores de partículas que marca una etapa de primordial importancia en la historia de esta disciplina científica.

Observamos además que este género de obras es raro. Hace revivir desde el interior esta aventura colectiva, puesto que P. Watkins es uno de los doscientos experimentadores que participaron en este descubrimiento. ■

C. Couraud
L'art azilien. Origen, supervivencia
176 p., Ed. du CNRS

El arte azilense (entre 9000 y 7500 a. J.C.), que es realmente bastante austero, había sido desatendido por los investigadores. Claude Couraud acaba de hacer un minucioso inventario: ningún trazo figurativo, sólo cantos rodados (las tres cuartas partes provienen del Mas d'Azil, Ariège) que llevan puntos o trazos rojos y, en algunos casos, finas incisiones paralelas. La historia del descubrimiento de los cantos azilenses, su contexto arqueológico, el análisis de la morfología de los soportes y del contenido temático permiten al autor definir el «arte azilense» y descartar unos 200 falsos ejemplares. Cantos rodados ornamentados análogos ya existían, según parece, en el Magdaleniense y se vuelven a encontrar más tarde en todo el mundo. ■

Y. Chevalier
L'architecture des dolmens entre Languedoc et Centre-Ouest de la France
504 pp., Dr. Rudolf Habelt GmbH (Bonn), DM 124

Útil a los investigadores y a toda persona que se interese por los monumentos megalíticos, la obra de Y. Chevalier se presenta como una síntesis de los conocimientos sobre este tema, en una vasta región que se extiende desde la costa mediterránea a la del Atlántico. Se encuentran, rehechos sobre el terreno, la mayoría de los planos publicados por otras obras. Sin embargo, la preparación de una metodología personal de tipología razonada de los monumentos permite situar rápidamente un dolmen en uno de los cuatro grandes grupos encontrados por el autor: languedociano, del bajo Ródano, de la Meseta calcárea y de Angulema. Mientras que los tres primeros se refieren al mundo mediterráneo, el grupo de Angulema, más antiguo, es de origen atlántico; demostración ya antigua. ■

K. Mogi
Earthquake prediction
356 pp., Academic Press

K. Mogi es un especialista reconocido en fractura de rocas, y desempeña un papel importante en las investigaciones llevadas a cabo en Japón sobre la predicción de los seísmos. Su libro presenta, por una parte, las bases físicas sobre las que puede apoyarse una predicción como ésta y los métodos utilizados y, por otra, lo que se observó durante cinco grandes seísmos ocurridos en Japón después del lanzamiento del programa nacional y lo que se ha hecho en las regiones de Tokai y de Tokio, donde se esperan grandes seísmos. Si la primera mitad puede interesar a un lector cultivado, la segunda sólo concierne a los especialistas; encontrarán observaciones minuciosas y muy discutidas. El autor insiste con razón sobre la importancia de las características regionales en la aparición de fenómenos precursores. ■

Y. Gluzman (ed.)
Eukaryotic transcription: the role of ci-and trans-acting elements in initiation
206 pp., Cold Spring Harbor Laboratory

Como todos los informes de las importantes reuniones que tienen lugar en Spring Harbor, un libro como éste debe ser «consumido» fresco; y esto es particularmente cierto para el campo referido, que cambia con gran velocidad. Se tendrá pues una idea general de la forma en que se aborda, de manera relativamente homogénea en todo el mundo, la caracterización de los factores, probablemente proteicos, que se fijan en las secuencias ADN de regulación de genes de origen muy variado, desde los virus hasta las células animales pasando por la levadura. La reunión de resúmenes cortos pero suficientemente detallados, en un formato muy manejable, hace de este libro la mejor «revista» actual sobre el tema. Aunque el carácter agudo de ese sector de investigación lo destina más bien a los especialistas, unos lectores exteriores a este campo concreto obtendrán no obstante una impresión de conjunto sobre lo que se sabe y lo que se postula, y sobre los enfoques tecnológicos de este problema fundamental en biología. ■

P.F. Sharp, P.P. Dendy, W.I. Keyes
Radionuclide imaging techniques
270 pp., Academic Press

En el curso de los últimos veinticinco años, la utilización de las moléculas marcadas por unos radioelementos se ha convertido en una poderosa herramienta del diagnóstico médico. Este libro presenta la medicina nuclear desde el punto de vista de la imagen: su formación, su registro, su tratamiento, su visualización y su análisis por el médico. El enfoque de los autores es el de la física y de las matemáticas del tratamiento de los datos, pero en una forma abordable por el no especialista. La calidad del texto y de las ilustraciones, una buena bibliografía y un índice completo hacen de este libro una herramienta de trabajo tanto para el especialista como para el principiante. ■

P. Feyereisen, J.D. de Lannoy,
Psycologie du geste,
364 p., P. Mardaga

Darwin abrió una perspectiva filogenética en el estudio de la gestualidad y de la expresión facial y de las emociones: ¿acaso no se erizan nuestros pelos, en caso de un gran pavor, como los pelos de la espina dorsal del perro en una situación similar? Después se han realizado muchos trabajos en el marco de una etiología humana preocupada por la expresión corporal de las emociones. Una manera de abordar y alcanzar «por la puerta de atrás», podría decirse, muchos de los problemas esenciales para las ciencias humanas, son los usos del cuerpo en las interacciones sociales en los primeros intercambios madre-hijo. Una obra muy bien documentada (60 páginas de bibliografía), que constituye una buena referencia para quienes están interesados en este tema. ■

J. Chaline
Histoire de l'homme et des climats au quaternaire
366 p., Doin

He aquí la reestructuración esperada de un libro *(Le Quaternaire)* cuyo alcance venía limitado por una serie de imperfecciones; se han aportado reagrupaciones más adecuadas, desarrollos reequilibrados y un conjunto de puestas al día que dan a la obra un nuevo interés. La concepción del conjunto no ha cambiado pero se ha reforzado la cohesión gracias a un enfoque resueltamente cronoestratigráfico: las tres primeras partes, pese a las desigualdades de tratamiento, constituyen desde este punto de vista una muy útil puesta a punto. Sin embargo se requiere que el lector esté familiarizado con el cuaternario, ya que el caso contrario numerosas correlaciones que establece (con toda la razón) el autor pueden parecer un tanto abstractas. Ya que, debido a este criterio algunos aspectos quedan excluidos (dinámica de la sedimentación, zonación paleoclimática y paisajes) o se tratan expeditivamente (causas de las fluctuaciones climáticas). Sobre todo se lamentará que el hombre y sus actividades se traten bajo el mismo ángulo: se adaptan mal, como han constatado los prehistoriadores, que han renunciado a este tipo de presentación. ■

T. Champion, C. Gamble, S. Shenna y A. Whitle,
Prehistoric Europe,
360 p., Academic Press

Este libro responde a la necesidad muy real de una obra de síntesis sobre la prehistoria europea que pueda servir de base a una enseñanza. Los cuatro autores se han repartido la tarea en el plano cronológico que cubre, cosa excepcional en un mismo libro, tanto la prehistoria en el sentido estricto, como la protohistoria hasta la invasiones romanas. Su voluntad común es la de apartarse de una presentación clásica, demasiado orientada hacia una clasificación espaciotemporal basada en los conjuntos líticos y cerámicos, para poner el énfasis en la explotación de los medios naturales, la estructuración regional y la composición de los grupos naturales. El enfoque a estos problemas y la respuesta propuesta suscitarán sin duda alguna desacuerdos, de la misma manera que la concisión de la presentación produce elecciones y omisiones que pueden parecer molestas. Pero estos defectos están compensados por la riqueza de la perspectiva desarrollada y el interés de muchas de las hipótesis presentadas. De hecho, el reproche más grave que puede hacerse a este manual es la confusión y las dificultades que producirán en los estudiantes una perspectiva demasiado apartada de los cuadros tradicionales y planos de exposición excesivamente complicados (especialmente para el Paleolítico). Por esta razón, la obra difícilmente se basta a sí misma, pero el abanico de problemas, de temas y de regiones que trata hacen que sea un complemento necesario para cualquier enseñanza. ■

A. Berman
Total pressure measurements in vacuum technology
396 p., Academic Press

La acumulación, en estos últimos veinte años, de artículos científicos sobre las técnicas de medida de bajas presiones totales pedía una compilación y una síntesis. A. Berman se ha dedicado a ella y el resultado es un libro en el que el tema se detalla metódica y exhaustivamente; de los estándares de presión al catálogo de medidores con el fundamento de su funcionamiento (incluido en medios especiales: máquina de plasma, atmósferas radiactivas o corrosivas) pasando por un largo desarrollo de los métodos de calibraje. Escrita con un criterio pragmático, esta obra llena una laguna y será muy utilizada tanto por los estudiantes como por los técnicos e ingenieros especializados en las bajas presiones. ■

Le grand atlas Universalis de l'archéologie
424 p., Encyclopaedia Universalis

La Encyclopaedia Universalis acaba de realizar para la arqueología lo que había ya conseguido para la astronomía o el mar: un atlas soberbiamente ilustrado. Este atlas esta dividido por grandes áreas geográficas, en el interior de las cuales son expuestos unos temas concretos más o menos sintéticos, a veces un poco demasiado puntuales, desde la prehistoria hasta los castillos Renacimiento y la arqueología industrial. A cada cuestión es dedicada una doble página: el texto, corto, es enriquecido con una ilustración variada (planos, mapas, diagramas, fotografías) y a menudo original. Un índice muy completo y una abundante bibliografía completan el conjunto.

Los responsables de este atlas han elegido deliberadamente el no ser exhaustivos. El resultado son unas alteraciones a veces frustrantes para el lector, pero muchas veces seductoras, inesperadas u originales. De todos modos, hay que lamentar que se haya dedicado tan poco espacio a África, que merece sin duda mucha más atención. ■

D. Padirac
La biotechnologie. Des cellules domestiquées
202 p., Chronique sociale

El título de la obra (que habría mejorado en plural) sólo cubre en realidad la mitad de su contenido. La otra está en efecto dedicada a nociones generales de biología celular y molecular. Esto es sin duda útil para comprender los mecanismos biotecnológicos. Se trata por otra parte de una obra de alto nivel destinada a un público bastante amplio, en el que se concentra la información. Títulos o subtítulos gráficos o «sensacionales», un deseo de cubrir todo el campo de las biotecnologías, esquematizaciones inevitables, una escritura clara y pocas inexactitudes. Una lectura recomendable pese a que las ambiciones de la obra van quizá más allá de la información que contiene. ■

PUBLICACIONES RECIBIDAS

- ***Spinoza: Tratado teológico-político,*** Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- ***Electrónica hoy,*** n.° 22, actualidad y tecnología del sector electrónico, Ediciones Arcadia, Madrid, noviembre, 1986.
- ***Productrónica,*** n.° 2, información mensual de nuevos productos y tecnologías, Boixareu Editores, Barcelona, noviembre, 1986.
- ***Chip,*** n.° 63, número especial, revista de informática, Ediciones Arcadia, Madrid, noviembre, 1986.
- ***Micros,*** n.° 34, revista de microinformática, Ediciones Arcadia, Madrid, noviembre, 1986.
- ***Estadística,*** Teoría, problemas y aplicaciones en BASIC, J. Tennant-Smith, Ediciones Anaya Multimedia, Madrid, 1986.
- ***Métodos matriciales,*** Teoría, problemas y aplicaciones en BASIC, J. C. Mason, Ediciones Anaya Multimedia, Madrid, 1986.
- ***Termodinámica y transmisión de calor,*** Teoría, problemas y aplicaciones en BASIC, Ediciones Anaya Multimedia, Madrid, 1986.
- ***Estudios sobre la abolición de la esclavitud,*** Coordinado por Francisco de Solano, Editado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centro de estudios Históricos, Departamento de Historia de América, Madrid, 1986.
- ***Química física para estudiantes de Farmacia y Biología,*** S. C. Wallwork y D. J. W. Grant, Editorial Alhambra, Madrid, 1986.
- ***Italia y la guerra civil española,*** Centro de Estudios Históricos CSIC, Departamento de Historia Contemporánea, CSIC, Madrid, 1986.
- ***Esos otros nosotros,*** Edita la Obra Social de minusválidos de las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid, 1986.
- ***La obra social de ayuda a la investigación,*** Edita la Obra Social de las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid, 1986.
- ***Más acá y más allá de la medicina,*** Edita la Obra Social Sanitaria de las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid, 1986.
- ***Obra Social deportiva,*** Edita las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid, 1986.
- ***Investigaciones semióticas I,*** Actas del I Simposio Internacional de Asociación Española de Semiótica de junio de 1984, Edita el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1986.





- ***Arquitectura de ordenadores y sistemas,*** J. Álvaro Contreras, Editorial Alhambra, Madrid, 1986.
- ***Metodología de la programación,*** M. Rodríguez Villén, Editorial Alhambra, Madrid, 1986.
- ***Electrónica I: elementos y componentes,*** P. Amo López, F. López Ferreras, Editorial Alhambra, Madrid, 1986.
- ***Electrónica II: estructura del ordenador,*** P. Amo López, F. López Ferreras, Editorial Alhambra, Madrid, 1986.
- ***Láseres,*** Coordinado por José Manuel Orza Segade, Edita el Consejo de Investigaciones Científicas, Madrid, 1986.
- ***El Universo accidental,*** P. Davies, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***En busca de la doble hélice,*** J. Gribbin, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***La creación,*** P. W. Atkins, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Patrones y pautas en la naturaleza,*** P.S. Stevens, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***La física en preguntas. Electricidad y magnetismo,*** J.M. Lévy-Leblond, A. Butoli, Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- ***El gasto militar,*** W. Leontief, F. Duchin, Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- ***Estadística. Modelos y métodos,*** 1. Fundamentos, D. Peña Sánchez de Rivera, Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- ***Celestino Mutis y la expedición botánica,*** José Antonio Amaya, Editorial Debate/Itaca, Madrid, 1986.
- ***Omni,*** n.° 1, revista de ciencia, Editorial Formentera, Barcelona, noviembre, 1986.
- ***La Tierra en movimiento,*** John Gribbin, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Miscelánea matemática,*** Martin Gardner, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Los sonámbulos,*** I y II, Arthur Kostler, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- ***Electrónica industrial. Electrónica de regulación y control,*** Hansruedi Bühler, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1986.
- ***Electrónica de potencia. Los convertidores estáticos de energía,*** Guy Séguier, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1986.
- ***Scientific American,*** n.° 4, publicación de la Monthly by Scientific American, Inc., Nueva York, octubre, 1986.
- ***La televisión por cable en América y Europa,*** Esteban López Escobar y Claude Jean Bertrand, Editorial Fundesco, Madrid, 1986.

Para una información adicional

MUNDO CIENTÍFICO

ICYT (CSIC)

- El Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (ICYT) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Mundo Científico ofrecen a los lectores interesados información bibliográfica complementaria de determinados artículos publicados en este número de Mundo Científico.

- Estas bibliografías se obtienen mediante la exploración de las bases de datos bibliográficas adecuadas, accesibles desde el ICYT, y se encuentran a disposición del interesado en el ICYT al precio de 2.000,– Pts.

Descuento del 50 % a los suscriptores de Mundo Científico (1.000 Pts.).

CUPÓN DE PEDIDO

☐ *La aspirina* .... 2.000 pts.
☐ *Las aplicaciones de los sistemas expertos* .... 2.000 pts.

Marque con una X los temas de las bibliografías que le interesen

Nombre ....
Dirección Postal ....
C. P. .... Municipio ....
Provincia ....
Número de suscriptor a Mundo Científico ....

Copie o recorte este cupón y envíelo acompañado de talón bancario, nominal al ICYT, o de giro postal por valor de las bibliografías solicitadas.

ICYT – Consultas Bibliográficas
C/ Joaquín Costa, 22
28002 Madrid
Télex: 22628 CIDMD/E
Teléfono: (91) 261 48 08 

MANIFESTACIONES CIENTÍFICAS

12-17 ENERO — TALENCE (FRANCIA)
Estrado de iniciación a las espectrometrías por infrarrojo por transformadas de Fourier y Raman.

26-30 ENERO — BONDY (FRANCIA)
Iniciación a la espectrometría de absorción atómica en las llamas y en los hornos.

2-4 FEBRERO — PARÍS (FRANCIA)
Técnicas de análisis por espectrofotometría de absorción en el ultravioleta y el visible.
CNRS-Formation, 27 rue Paul Bert, 94204 Yvry-sur-Seine Cedex, Francia.

19-23 ENERO — AUSSOIS (FRANCIA)
Estructuras de documentos.

2-6 FEBRERO — PARÍS (FRANCIA)
Seminario internacional sobre las supercalculadoras científicas.
INRIA Bureau-cours et séminaires, Domaine de Voluceau, B P 105, 78153 Le Chesnay Cedex, Francia.

29-30 ENERO — PARÍS (FRANCIA)
Congreso anual del grupo de estudios de los ritmos biológicos. Los ritmos biológicos y la teoría de los autómatas; la cronofarmacología de los agentes anticancerígenos y el control de la reproducción en los mamíferos.
B. Millet, Laboratoire de botanique, Faculté des sciences, Place Leclerc, 25030 Besançon Cedex, Francia.

26-28 FEBRERO — GEORGIA (ESTADOS UNIDOS)
Commtex international 87: una exposición internacional para las tecnologías de comunicaciones e información
H. McGee, 3150 Spring St, Fairfax, Virginia VA 22031-2399, Estados Unidos.

4-6 MARZO — AIX-LA-CHAPELLE (RFA)
2.º coloquio franco-alemán sobre cerámicas técnicas.
F. Thevenot, 158 Cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, Francia

5-7 MARZO — PARÍS (FRANCIA)
Secoricom'87: 5.º Congreso mundial de la protección y de la seguridad informática y de las comunicaciones.
SECURICOM, 8 rue de la Michodière, 75002 París, Francia.

9-11 MARZO — PARÍS (FRANCIA)
Coloquio nacional sobre el silicio: finalidades fotovoltaicas y microelectrónicas.
P.V. Huong, Université de Bordeaux 1 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, Francia.

9-11 MARZO — SAN FRANCISCO (EEUU)
Conferencia SIAM sobre la combustión numérica
SIAM, 14th Floor, 117 South 17th Street, Philadelphia, PA 19103-5052, Estados Unidos

15-20 MARZO — ORLANDO (ESTADOS UNIDOS)
Orlando'87: simposio técnico del SPIE's 1987 del sudeste, sobre óptica, electroóptica y sensores.
SPIE's European Exhibit Representative, V. Bastien, 90 route de l'Etang la Ville, 78750 Mareil-Marly, Francia.

18-20 MARZO — CASTRES (FRANCIA)
Simposio internacional sobre el nuevo concepto de depresión.
M. Briley, Départment de pharmacologie biochimique, Centre de recherche Pierre Fabre, 17 avenue Jean Moulin, 81100 Castres, Francia.

18-20 MARZO — PARÍS (FRANCIA)
Congreso sobre la investigación en imaginería médica.
Convergence imagerie médicale, 16 rue J.J. Rousseau, 75001 París, Francia.

23-27 MARZO — FLORIDA (ESTADOS UNIDOS)
Adelantos en los semiconductores y las estructuras de semiconductores.
SPIE, P.O. Box, Bellingham, WA 98227-0010, Estados Unidos.

26-27 MARZO — MADRID (ESPAÑA)
Seminario sobre aplicaciones de los cultivos de tejidos en el estudio de la proliferación, autorrenovación y diferenciación celular.
Información: Secretaría de Organización (CIEMAT) teléfono (91) 244 12 00 (ext. 1238).

5-8 ABRIL — OXFORD (GRAN BRETAÑA)
Protein engineering'87: Una importante conferencia internacional sobre ingeniería de las proteínas.
Protein engineering'87, Nuneham Park, Neneham Courtenay, Oxfordshire 0X9 9PG, Inglaterra.

6-9 ABRIL — LONDRES (GRAN BRETAÑA)
5.ª conferencia y exhibición internacionales sobre análisis modal.
D.J. DeMichele, Union College, Graduate and Continuing Studies, Wells House, 1 Union Avenue, Schenectady, Nueva York 12308-2363, Estados Unidos.

7-10 ABRIL — PISA (ITALIA)
7.ª conferencia general sobre la división de la materia condensada.
G. Grosso, Dipartimento di fisica, Università di Pisa, Piazza Torricelli 2, 1-56100 Pisa, Italia.



La fotografía recoge la firma del acta de control de difusión de OJD de *Mundo Científico*. De izquierda a derecha, D. José Gili Casals, director general de Editorial Fontalba, D. Ramón Poch, director de OJD, D. Enrique Yarza de la agencia BASSAT OGILVY MATHER, D. Jaume Carbonell de redacción y Conxita Vega del departamento de publicidad.

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, versión en castellano

Summary n.º 65

MUNDO CIENTIFICO

DE EDITORIAL FONTALBA

● DIRECTOR
José Gili Casals

● DIRECTOR CIENTÍFICO
Jaume Josa i Llorca

● REDACCIÓN
Carlos Sánchez-Rodrigo
Maria Torres
Ofelia Favaron

● PRODUCCIÓN
Ismael Rodriguez

LA RECHERCHE

● COMITÉ CIENTÍFICO
Pierre Gilles de Gennes
Xavier Le Pichon
Maurice Lévy
François Morel
Guy Ourisson
Charles Thibault

● DIRECTOR
Claude Cherki

Claude Cherki

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN

La saga de las anguilas: *Jaume Serrasolsas;* Una nueva hormona del cerebro: *Anna Angel;* La supernova del siglo en Centaurus A; Las cristaleras de la pirámide del Louvre; ¿Dejará de crecer la población mundial?: *Amadeu Montoto;* Kaiko: la exploración de las fosas en Japón; Las aplicaciones de los sistemas expertos: *Laura Gavaldà;* Las sorprendentes predicciones de la mecánica cuántica; Un microscopio para los materiales magnéticos: *Joan Pericay;* La aspirina; La jirafa y la serpiente: un mismo combate contra la gravedad; Los etruscos: *Bernat Pardo Alzina.*

EDITA
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359 - 6.ª planta
08009 Barcelona (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FONE

PUBLICIDAD

Directora de publicidad:
Charo de la Torre
Avda. de Bruselas, 74, 1.º, der.
28028 MADRID
Tel. (91) 255 96 13

Delegación Cataluña
Nela Viedma Díaz
Valencia 359, 6.º 1.ª 08009 Barcelona
Tels.: (93) 258 50 22 y 258 55 07

Control OJD DIFUSION · PUBLICIDAD **de difusión**

Distribución: **Marco Ibérica, S.A.** Fotocomposición: Catalana de Fotocomposición, S.A.: Consejo de Ciento, 500 - Barcelona. Impresión: Industrias Gráficas RODHER, S.A.: Pujadas, 305 - Barcelona – B. 10.896-1981 / © Société des Editions Scientifiques. 1984 / © Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1985 / Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización de los editores.
Precio del ejemplar para Canarias, Ceuta y Melilla 380 Ptas.



RANK XEROX



Comienza un nuevo humanismo. El hombre vuelve a ser el centro de nuestro mundo. Es el hombre que crea, tiene ideas y la necesidad de reproducirlas y comunicarlas. Para este hombre Rank Xerox tiene soluciones, tecnología que hace el trabajo mejor, más rápido y con mayor satisfacción.

Consulte con los hombres de Xerox, comprenderá muy pronto que hay otras formas de crear, comunicar e imprimir. Pero no son Xerox.

RANK XEROX
Ayudamos al hombre a crear, comunicar e imprimir.

Contrapunto